

PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI BERBASIS LOGAM DENGAN TEKNOLOGI ELEKTROKOAGULASI FLOTASI



Tesis

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Mencapai derajat Sarjana S-2 pada
Program Studi Ilmu Lingkungan

Aris Mukimin
L4K005029

**PROGRAM MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2006**

ABSTRAK

Selama ini teknologi pengolahan air limbah yang umum digunakan adalah koagulasi-flokulasi. Teknologi ini mempunyai kelemahan pada biaya pengolahan yang tinggi dan volume sludge besar, terutama untuk mengolah air limbah yang berasal dari industri berbasis logam. Untuk itu dilakukan penelitian dengan cara merancang teknologi baru dengan prinsip dasar elektrokoagulasi flotasi. Teknologi ini diharapkan mampu secara teknik dengan biaya pengolahan yang lebih rendah.

Prinsip kerja elektrokoagulasi flotasi adalah pelarutan logam anoda (M^+) yang kemudian bereaksi dengan ion hidroksi (OH^-) membentuk koagulan. Koagulan ini akan mengadsorpsi polutan-polutan menjadi senyawa berpartikel besar yang tidak larut yang akan terflotasi ke permukaan bak proses.

Penelitian telah dilakukan dengan merancang alat yang terdiri dari bak umpan (40 liter), bak proses (300 liter), dan bak filtrasi (30 liter). Jenis elektroda anoda-katoda yang dipilih adalah Aluminium (AL) dan Besi (Fe) yang berdimensi 25 cm x 50 cm sebanyak 4 pasang dengan jarak 2,5 cm. Tolok ukur keberhasilan menggunakan baku mutu air limbah industri golongan I (PERDA 10 tahun 2004).

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan kondisi operasi yang menghasilkan kualitas air limbah memenuhi baku mutu yang disyaratkan, yaitu rapat arus 40 Amper/m²; pH 7, 8, 9; dan laju alir 2 liter/menit. Model persamaan penurunan COD sebagai fungsi arus adalah $COD_t = 406 e^{-0,036t}$ dengan batasan kondisi operasi sesuai metodologi penelitian yang dipilih.

Selain itu dilakukan analisis lapangan yang memperbandingkan biaya pengolahan untuk teknologi koagulasi-flokulasi yang telah diterapkan di PT Kubota dengan biaya pengolahan menggunakan teknologi elektrokoagulasi flotasi hasil penelitian. Analisis lapangan menunjukkan adanya penghematan pada biaya operasi pengolahan sebesar 18,46% yang dihitung dari perbandingan biaya koagulan-flokulan dengan biaya penyusutan plat anoda Al dan konsumsi listrik. Penghematan biaya terbesar pada penanganan limbah padat yaitu 96,5%, penghematan ini dihitung dari perbandingan material yang masuk pada proses pengolahan sistem koagulasi-flokulasi dengan sistem elektrokoagulasi. Aspek keuntungan lain adalah penurunan luas lahan pengolahan, keterpaparan zat pencemar dan bahan koagulan terhadap pekerja sangat rendah.

Kata kunci : elektrokoagulasi, flotasi, rapat arus, anoda-katoda

ABSTRACT

Most of industries in Central Java treat their waste water based on coagulation-flocculation system. It is inconvenient in processing cost and great amount of resulted sludge, especially to that at metal based industry. This research was done to find new alternative technology based on electrocoagulation and flotation.

In principle, electrocoagulation – flotation system is diluting of anodic metal (M^+) that reacts with hydroxide ion (OH^-) and forms coagulant. The coagulant absorbs pollutants and forms a substance with bigger particle which is insoluble and floats on the surface of processing pond.

The reasearch was carried out by means of a specieally designed equipment consisting of 40 lts feeding pond, 300 lts processing pond, 30 lts filtration pond. Al and Fe metals with dimension of 25 x 50 cms as anodic and cathodic were used, and there were 4 pairs of anodic-cathodic with space interval 2.5 cms. The research used PERDA 10 Tahun 2004 – quality standard for waste water from industry of group I – as the reference.

The processed waste water revealed that it met the quality standard: current density; 40 A/m²; pH 7, 8, 9 and flow rate 2 lts/min. COD reduce equation model at flow rate 2 lts/min was $COD_t = 406 e^{-0,036t}$. It was limited on operation condition according to the research method.

Cost comparison between coagulation – flocculation technology applied at PT Kubota Indonesia and electrocoagulation – flotation technology showed that operation cost according to ratio of coagulant – flocculant cost and operation cost of Al anodic and electricity was 18.46 percent. Cost for treat solid waste treatment could be reduced to 96.5 percent. The other benefits were less area needed and low exposure of pollutants and coagulant agents to the labor

Keyword : electrocoagulation, flotation, current density, anodic-cathodic

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman judul	i
Halaman pengesahan	ii
Halaman pernyataan	iii
Riwayat hidup	iv
Kata pengantar	v
Daftar isi	vii
Daftar tabel	x
Daftar gambar	xi
Daftar lampiran	xii
Abstrak	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	3
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1. Air Limbah	4
2.1.1. Definisi Air Limbah	4
2.1.2. Karakteristik Air Limbah	4
2.1.2.1. Sifat Fisika Air Limbah	4
2.1.2.2. Sifat Kimia Air Limbah	5
2.1.2.3. Sifat Biologi Air Limbah	5
2.1.3. Air Limbah Industri Berbasis Logam	5
2.1.3.1. Sumber dan Karakteristik Air Limbah	6
2.1.3.2. Pengelolaan Air Limbah	7
2.1.3.3. Pengolahan Air Limbah	7
2.2. Elektrokimia	8

2.2.1. Hukum Faraday	8
2.2.2. Efisiensi Arus Katoda	9
2.2.3. Potensial Elektroda	9
2.2.4. Rapat Arus	10
2.2.5. Perpindahan Massa	11
2.2.6. Efek pH	12
2.3. Elektro-koagulasi	12
2.4. Flotasi	16
2.5. Transformasi Polutan	18
BAB III METODOLOGI	
3.1. Ruang Lingkup Penelitian	20
3.2. Rancangan Percobaan	20
3.2.1. Bahan	20
3.2.2. Alat	21
3.2.3. Kondisi Operasi	23
3.2.4. Pelaksanaan Kegiatan	24
3.2.4.1. Rancangan Percobaan Pendahuluan	24
3.2.4.2.1. Uji Coba Peralatan pada berbagai Kondisi Operasi	24
3.2.4.2.2. Metode Pengambilan Sampel	26
3.2.4.2.3. Analisa Contoh Hasil Pengoperasian	26
3.2.4.3. Penentuan Neraca Massa Polutan Logam	27
3.2.5. Analisis data	28
3.3. Lokasi penelitian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Perkiraan Efek Utama	30
4.2. Identifikasi Kandungan Air Limbah (Bak Equalisasi) PT. Kubota	32
4.3. Penurunan Kandungan Polutan pada Kondisi Operasi	35
4.3.1. Konsentrasi Pencemar sebagai Fungsi Rapat Arus	37
4.3.2. Konsentrasi pencemar sebagai Fungsi pH	41
4.3.3. Konsentrasi Pencemar sebagai Fungsi Laju Alir	44
4.3.4. Model Persamaan Penurunan Polutan sebagai Fungsi Arus	46

4.4. Flotasi	47
4.5. Neraca Massa Polutan Logam Berat	48
4.6. Analisis Lapangan	51
BAB V KESIMPULAN DAN REKOMENDASI	
5.1. Kesimpulan	57
5.2. Saran	57
5.3. Rekomendasi	58
DAFTAR PUSTAKA	
Lampiran	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel.1. Hasil analisa air limbah dari salah satu industri berbasis logam	6
Tabel 2. Konsentrasi COD pada berbagai kondisi operasi	30
Tabel 3. Kandungan polutan air limbah pada bak equalisasi	33
Tabel 4. Penurunan kandungan polutan akibat kenaikan rapat arus pada pH dan laju alir tertentu	36
Tabel 5. Neraca massa polutan logam berat yang dihasilkan dari proses pengolahan elektrokoagulasi flotasi	49

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Diagram model input-output pada suatu sistem elektro-flotasi	18
Gambar 2. Alat proses elektrokoagulasi flotasi untuk pengolahan air limbah sistem kontinu	21
Gambar 3. Alat percobaan pendahuluan dan penentuan neraca massa sistem batch	23
Gambar 4. Konsentrasi pencemar (COD,TSS,Minyak) sebagai fungsi rapat arus (pH 7, laju alir 2 l/menit)	37
Gambar 5. Konsentrasi pencemar (Cr,Zn,Ni,Pb) sebagai fungsi rapat arus (pH 7, laju alir 2 l/menit)	39
Gambar 6. Konsentrasi pencemar (Minyak) sebagai fungsi rapat arus (pH 7, laju alir 2 l/menit)	41
Gambar 7. Konsentrasi pencemar (COD,TSS,Minyak) sebagai fungsi pH (rapat arus 40 A/m ² , laju alir 2 l/menit)	42
Gambar 8. Konsentrasi pencemar (Zn,Cr,Ni,Pb) sebagai fungsi pH (rapat arus 40 A/m ² , laju alir 6 l/menit)	43
Gambar 9. Konsentrasi pencemar (COD,TSS,Minyak) sebagai fungsi laju alir (rapat arus 40 A/m ² , pH 7)	45
Gambar 10. Konsentrasi pencemar (Zn,Cr,Ni,Pb) sebagai fungsi laju alir (rapat arus 20 A/m ² , pH 7)	45
Gambar 11. Model persamaan penurunan COD sebagai fungsi arus	47

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A. Grafik konsentrasi polutan sebagai fungsi rapat arus pada pH dan laju alir tertentu
- Lampiran B. Grafik konsentrasi polutan sebagai fungsi pH pada rapat arus dan laju alir tertentu
- Lampiran C. Grafik konsentrasi polutan sebagai fungsi laju alir pada pH dan rapat arus tertentu.
- Lampiran D. Model Persamaan Penurunan Polutan sebagai Fungsi Arus
- Lampiran E. Data arus dan voltase
- Lampiran F. Baku mutu air limbah golongan I PERDA 10 Tahun 2004
- Lampiran G. Foto-foto lapangan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu penyebab terjadinya pencemaran adalah banyaknya air limbah yang dibuang tanpa melalui pengolahan lebih dahulu atau sudah diolah tetapi belum memenuhi persyaratan. Hal ini dimungkinkan karena adanya keengganan mengolah air limbah, disamping itu belum tersedianya sebuah teknologi pengolahan air limbah yang mudah dan efisien sehingga dapat diterapkan di sebuah industri.

Keadaan ini juga dirasakan oleh industri yang berasal dari kegiatan berbasis logam, misalnya karoseri, bengkel, elektroplating, suku cadang dan lain-lain. Industri-industri ini tersebar di semua wilayah propinsi di Indonesia. Berdasarkan data, di Jawa Tengah jumlah industri berbasis logam adalah 209 selain industri bengkel (bersumber dari direktori perusahaan industri 2004 Departemen Perindustrian) dengan hampir 90% tidak memiliki instalasi pengolahan air limbah secara baik.

Dari identifikasi kandungan air limbah yang dihasilkan dari salah satu industri berbasis logam diperoleh kualitas air limbah sebagai berikut: COD 396 mg/l, TDS 171,5 mg/l, TSS 121 mg/l, Minyak 57 mg/l (Hasil pengukuran di Laboratorium Baristand Indag Semarang, 2006). Kualitas tersebut bila dibandingkan dengan baku mutu yang disyaratkan maka masih terlalu tinggi atau belum memenuhi. Untuk itu perlu dilakukan sebuah penelitian yang mampu menyediakan sebuah teknologi yang dapat mengatasi masalah tersebut.

Beberapa teknologi pengolahan air limbah yang telah diterapkan umumnya masih seputar koagulasi-flokulasi melalui penambahan bahan kimia, sedimentasi, netralisasi, lumpur aktif dan anaerobik. Teknologi ini umum digunakan pada semua jenis limbah industri sehingga kurang efektif bila diterapkan pada industri berbasis logam dengan kandungan limbah yang spesifik. Secara teknis untuk limbah dengan karakteristik khusus yaitu yang mengandung minyak dan logam berat terlarut cukup tinggi teknologi tersebut kurang efisien.

Hal ini diindikasikan dari kebutuhan bahan koagulan-flokulan yang banyak dan volume limbah padat yang dihasilkan besar sehingga meningkatkan biaya pengolahan dan penanganan limbah padat.

Berdasarkan teori, polutan pada air limbah ini bisa dilakukan pengolahan dan pemisahan dengan proses yang sederhana dan hasil yang baik. Teknologi yang bisa diterapkan adalah elektro-koagulasi yang dilanjutkan dengan flotasi. Gabungan (*hybrid*) teknologi ini cukup sederhana karena hanya memanfaatkan proses fisika saja. Luas lokasi yang dibutuhkan tidak terlalu besar sehingga teknologi ini cocok diterapkan pada industri kecil dan menengah.

1.2. Permasalahan

Berdasarkan uraian di atas maka dapat diketahui permasalahan-permasalahan yang muncul di industri berbasis logam yang berkaitan dengan air limbahnya yaitu:

1. Selama ini belum ada teknologi pengolahan yang baru yang diterapkan di industri berbasis logam selain teknologi pengolahan koagulasi-flokulasi.
2. Teknologi pengolahan air limbah yang digunakan kurang efektif karena konsumsi bahan koagulan-flokulan besar sehingga biaya operasi tinggi dan volume limbah padat yang dihasilkan besar

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Merancang pengolahan air limbah industri berbasis logam dengan teknologi baru dan menghindari pemakaian bahan koagulan-flokulan.
2. Mencari kondisi operasi optimum yang menghasilkan kandungan polutan hingga memenuhi baku mutu yang disyaratkan (PERDA 10 Th 2004; Air limbah industri golongan I) dengan biaya operasi yang rendah dan volume limbah padat yang sedikit.

1.4. Manfaat

Penerapan teknologi baru dapat memberikan solusi bagi industri berbasis logam untuk mengolah air limbahnya sebelum dibuang ke lingkungan dengan biaya lebih rendah dan volume limbah padat sedikit.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Air Limbah

2.1.1. Definisi Air Limbah

Air limbah juga dikenal sebagai *sewage*, mula-mula dari limbah rumah tangga, manusia, dan binatang, tapi kemudian berkembang selain dari sumber-sumber tersebut juga air limbah berasal dari kegiatan industri, *run off*, infiltrasi air bawah tanah. Air limbah pada dasarnya 99,94 % berasal dari sisa kegiatan sedang 0,06 % berasal dari material terlarut oleh proses alam. (Lin,S. 2001)

2.1.2. Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air limbah umumnya terbagi ke dalam fisika, kimia, dan biologi. Sifat fisika, kimia, dan biologi air limbah adalah sangat penting untuk keperluan desain, operasi, dan manajemen pengumpulan, pengelolaan, dan penimbunan air limbah. Sifat fisika, kimia, dan biologi air limbah sangat tergantung pada sumber kegiatan penghasil air limbah tersebut, apakah itu masyarakat, industri, atau komoditi lain.

2.1.2.1. Sifat Fisika Air Limbah

Temperatur dan zat padat pada air limbah adalah faktor penting untuk proses pengolahan air limbah. Temperatur mempengaruhi reaksi kimia dan aktivitas biologi. Zat padat , seperti *total suspended solid* (TSS), *volatile suspended solid* (VSS), *settleable solid*, mempengaruhi teknik pengoperasian dan ukuran unit pengolahan. Zat padat terdiri dari material tersuspensi dan terlarut dalam air dan air limbah. Zat padat terbagi kedalam beberapa fraksi dengan konsentrasi tertentu yang dapat berguna bagi proses

pengolahan. Total solid (TS) adalah jumlah total solid tersuspensi (TSS) dan total solid terlarut (TDS). Masing-masing dari TSS dan TDS dapat dibagi lebih lanjut menjadi fraksi volatil dan campuran. Total solid adalah material tertinggal pada proses evaporasi setelah pengeringan selama 1 jam. *Total Suspended solid* adalah material yang tidak tersaring. *Total suspended solid* adalah parameter penting untuk pengolahan dan sebagai standar acuan keberhasilan sistem pengolahan.

2.1.2.2. Sifat Kimia Air Limbah

Zat padat terlarut dan tersuspensi pada air limbah mengandung material organik dan anorganik. Material organik terdiri dari karbonat, lemak, minyak surfaktan, *grease*, protein, pestisida, senyawa kimia pertanian lain, senyawa organik *volatile*, dan senyawa kimia racun lain. Material anorganik terdiri dari logam berat, nitrogen, phosphor, pH, alkanity, chloride, sulfur, dan polutan anorganik lain. material gas masing-masing CO₂, N₂, O₂, H₂S, CH₄ juga terdapat pada air limbah

2.1.2.3. Sifat Biologi Air Limbah

Mikroorganisme yang terdapat pada air limbah adalah bakteri, jamur, protozoa, tumbuh-tumbuhan mikroskopik, binatang, dan virus. Banyak mikroorganisme (bakteri, protozoa) berhubungan langsung dan menguntungkan untuk proses pengolahan biologi air limbah (Lin, S. 2001)

2.1.3. Air Limbah Industri Berbasis Logam

Air limbah industri berbasis logam mempunyai sifat dan karakteristik berbeda-beda tergantung pada jenis proses yang digunakan. Umumnya limbah industri berbasis logam mempunyai sifat asam atau alkali yang mengandung

sianida beracun dan logam. Pembuangan lemak dengan pelarut membuat pelarut itu sendiri menjadi limbah dan kebanyakan pelarut itu berbahaya terhadap lingkungan. (EMDI, 1994)

2.1.3.1. Sumber dan Karakteristik Air Limbah

Salah satu contoh industri berbasis logam adalah elektroplating. Kegiatan elektroplating selain menghasilkan produk yang berguna, juga menghasilkan limbah padat dan cair serta emisi gas. Limbah padat berasal dari kegiatan polishing maupun penghilangan kerak, limbah cair berupa air limbah berasal dari pencucian, pembersihan dan proses plating. Air limbah yang dihasilkan banyak mengandung logam-logam terlarut, pelarut dan senyawa organik maupun anorganik terlarut lainnya. (Purwanto, 2005)

Berdasarkan identifikasi disalah satu industri berbasis logam diperoleh data kualitas air limbahnya sebagai berikut

Tabel.1. Hasil analisa air limbah dari salah satu industri berbasis logam

NO	PARAMETER	SATUAN	PROSES		
			UNDERCOATING	MACHINING	ASSAMBLING
1	T DS	mg/l	147	171,5	105,0
2	TSS	mg/l	45	121	93
3	DHL	µs/cm	451	839	443
4	Minyak	mg/l	46	75	56

Ket: TDS (Total Disolved Solid), TSS (Total Suspended Solid), DHL (Daya Hantar Listrik)

Data tersebut diperoleh dari hasil analisis terhadap air limbah yang dihasilkan oleh industri berbasis logam yang dilakukan di laboratorium lingkungan Baristand Indag Semarang pada tanggal 5 Mei 2006.

2.1.3.2. Pengelolaan Air Limbah

Pengelolaan limbah dapat dilakukan dengan cara segregasi atau pemilahan limbah. Pemisahan antara air limbah untuk keperluan mandi dan cuci atau air bukan proses dengan air limbah dari proses elektroplating sehingga volume limbah plating menjadi kecil. Tidak mencampurkan limbah plating sianida dengan limbah asam untuk menghilangkan kerak karena dapat menimbulkan gas-gas berbahaya. Limbah yang dihasilkan dari tahap pembersihan permukaan bahan yang mengandung asam dipisahkan dari limbah elektroplating. Limbah asam dinetralkan dengan kapur atau soda api. Sedangkan air limbah proses plating selanjutnya dilakukan pengolahan agar buangan air limbahnya memenuhi baku mutu yang disyaratkan.

2.1.3.3. Pengolahan Air Limbah Industri Berbasis Logam

Pengolahan air limbah dapat dilakukan secara fisika, kimia, elektrokimia, dan biologi. Jenis pengolahan yang digunakan tergantung dari karakteristik senyawa-senyawa yang ada pada air limbah.

Pengolahan secara fisika didasarkan pada karakteristik fisika dari air limbah, dilakukan dengan cara sedimentasi, filtrasi, adsorpsi, evaporasi, penukaran ion, dan pemisahan menggunakan membran.

Partikel-partikel padat dalam bentuk padatan tersuspensi dalam air limbah dapat diendapkan secara langsung berdasarkan gaya berat dan ukuran partikel. Ukuran partikel yang kecil sulit mengendap sehingga diperlukan penambahan koagulan seperti tawas (Alum), Ferisulfat, Poli aluminium klorida (PAC = Poly Aluminium Chloride). Dengan penambahan koagulan partikel-partikel akan menempel pada flok koagulan selanjutnya akan dapat mengendap. Pengaturan pH pada koagulasi ini dilakukan dengan penambahan soda atau kapur.

Pengolahan dengan bantuan mikrobiologi dapat dilakukan untuk jenis air limbah yang mengandung senyawa organik mudah terurai (*degradable*). Senyawa-senyawa organik akan teruraikan menjadi senyawa yang lebih sederhana. Adanya logam berat seringkali merupakan racun bagi mikroba, sehingga perlu dilakukan pengolahan pendahuluan dengan cara fisika sebelum dilakukan pengolahan secara biologi (Purwanto, 2005)

2.2. Elektrokimia

Elektrokimia adalah peristiwa kimia yang berhubungan dengan energi listrik. Prinsip dasar reaksi pada elektrokimia adalah reaksi reduksi oksidasi (redoks), reaksi tersebut terjadi pada suatu sistem sel elektrokimia. Ada dua jenis sel elektrokimia yaitu galvanis dan sel elektrolisis.

Sel galvanis dan sel elektrolisis adalah inti dari suatu proses elektrokimia. Sel galvanis menghasilkan energi yang disebabkan oleh hasil reaksi kimia, sedangkan sel elektrolisis dibutuhkan energi listrik untuk melangsungkan reaksi kimia. Pada sel galvanis katoda berfungsi sebagai penghantar listrik sehingga berkutub positif. Proses aliran elektron terjadi dari elektroda negatif ke elektroda positif dengan melewati media elektrolit yang berfungsi sebagai penghantar arus listrik sehingga reaksi yang terjadi adalah spontan.

Pada sel elektrolisis elektroda yang berfungsi penghantar listrik adalah anoda sehingga terjadi suatu pelarutan material anoda menghasilkan kation logam (M^+). Elektrolisis air merupakan reaksi samping yang menghasilkan gas hidrogen pada katoda dan gas oksigen pada anoda. (Purwanto, 2005)

2.2.1. Hukum faraday

Hukum Faraday mengenai elektrolisis adalah sebagai berikut: Berat (w) logam yang terelektrolisis di permukaan katoda sebanding dengan jumlah muatan yang dilewatkan (q , Coulomb) yang sebanding dengan kuat arus (I ,

Amper) di kali waktu (t, detik), untuk jumlah muatan (It) berat logam yang terelektrolisis sebanding dengan ekivalen massa Molar logam tersebut (M/nF)

Hukum Faraday mengenai elektrolisis di atas dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$w = \frac{M \cdot I \cdot t}{96500 \cdot n} \quad \dots \dots \dots (1)$$

Ket w : Berat logam terlarutkan (g)
 M : Massa Atom relatif (g/mol)
 I : Arus (Amper)
 n : Valensi logam
 t : Waktu (detik)

(Newman, J. S. 1984)

2.2.2. Efisiensi Arus

Efisiensi arus didefinisikan sebagai perbandingan antara berat logam yang terelektrolisis pada permukaan anoda dengan berat logam yang terelektrolisis secara teoritik menurut hukum Faraday

$$\eta = \frac{w_d}{w_t} \times 100\% \quad \dots \dots \dots (2)$$

Ket η : Efisiensi arus
 w_d : Berat logam yang terelektrolisis
 w_t : Berat logam yang terelektrolisis secara teoritis

(Purwanto, 2005)

2.2.3. Potensial Elektroda

Potensial elektroda adalah selisih potensial yang terbentuk antara elektroda dan elektrolit. Nilai potensial elektroda bergantung pada sifat dasar

logam dan konsentrasi ion dalam larutan. Untuk satu elektroda logam reversibel dengan reaksi elektroda sebagai berikut:



Potensial elektroda E, dapat dinyatakan dengan persamaan Nerst sebagai berikut:

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln a_{M_e^{n+}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

karena dalam larutan encer energi aktivasi $a_{M_e^{n+}}$ dapat disamakan dengan konsentrasi $[M_e^{n+}]$ maka,

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln [M_e^{n+}] \quad \dots\dots\dots (5)$$

- Ket R : Konstanta gas ideal
 E^0 : Potensial reduksi standar
 E : Potensial elektroda
 T : Temperatur
 n : Jumlah elektron yang terlibat (Newman, J. S. 1984)

2.2.4. Rapat Arus

Rapat arus adalah arus yang diberikan pada elektroda (Anoda) di bagi area aktif elektroda tersebut. Besarnya dinyatakan dalam Amper/m². Rapat arus menentukan laju pelepasan kation logam dari anoda dan produktifitas gelembung udara (Hidrogen/Oksigen).

Kuantitas rapat arus yang digunakan pada proses elektrokoagulasi adalah bervariasi dari 10 A/m² hingga 2000 A/m². Umumnya rapat arus yang digunakan pada interval 10 – 150 A/m². Perbedaan kuantitas rapat arus yang digunakan tergantung pada perbedaan kondisi aplikasi. Rapat arus tinggi dipilih bila aplikasi melibatkan proses flotasi dengan dimensi proses yang besar. Sebuah analisis sistematis dibutuhkan untuk mendefinisikan dan

memperjelas hubungan antara rapat arus dengan faktor-faktor pemisahan yang diinginkan. (Peter, H. 2006)

2.2.5. Perpindahan Massa

Perpindahan ion-ion di dalam larutan elektrolit terjadi melalui tiga proses, yaitu: migrasi, difusi, dan konveksi. Migrasi ion terjadi karena pengaruh potensial listrik. Difusi adalah proses perpindahan yang disebabkan oleh perbedaan konsentrasi, ion-ion bergerak dari konsentrasi tinggi menuju konsentrasi yang lebih rendah. Konveksi adalah pergerakan ion dalam larutan karena pengadukan. Konveksi hanya efektif untuk memindahkan ion-ion dari larutan ruah lapisan ganda, sedangkan di dalam lapisan ganda ion-ion bergerak ke permukaan elektroda secara migrasi dan difusi.

Fluks (N) adalah kuantitas gaya yang menyebabkan pergerakan ion dalam larutan. Fluks tiap spesies ion di dalam larutan adalah sebagai berikut

$$N_i = -Z_i \mu_i F C_i \nabla \Phi - D_i \nabla C_i + C_i V \quad \dots\dots\dots(6)$$

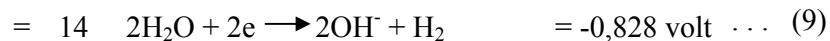
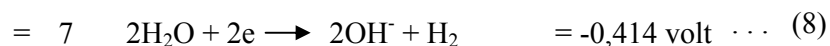
Ket	N_i	: Fluks spesies (mol/cm ² s)
	Z_i	: Muatan konsentrasi spesies (Q/e)
	F	: Kontanta Faraday (e/mol)
	Φ	: Potensial listrik (Volt)
	μ_i	: Mobilitas spesies (cm ² mol/Js)
	C_i	: Konsentrasi spesies (mol/cm ³)
	∇	: Gradien konsentrasi (cm ⁻¹)
	V	: Kecepatan aliran (cm/s)
	D_i	: Koefisien difusi (cm ² /s)

(Newman, J. S. 1984)

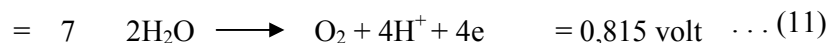
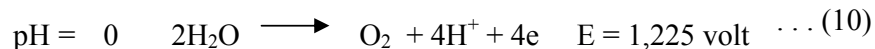
2.2.6. Efek pH

Keasaman larutan mempunyai pengaruh terhadap kemudahan pembebasan Hidrogen dan Oksigen, dengan berkurangnya keasaman pembebasan Hidrogen maupun pembebasan Oksigen menjadi lebih mudah.

Untuk mereduksi H^+ menjadi H_2



Untuk mengoksidasi O menjadi O_2



(Huheey, J. E. 1978)

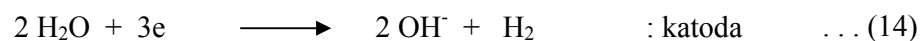
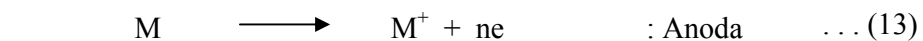
2.3. Elektrokoagulasi

Koagulasi dan flokulasi adalah metode tradisional pada pengolahan air limbah. Pada proses ini bahan koagulan seperti alum atau feri klorida dan bahan aditif lain seperti polielektrolit ditambahkan dengan dosis tertentu untuk menghasilkan persenyawaan yang berpartikel besar sehingga mudah dipisahkan secara fisika. Ini merupakan proses dengan tahap yang banyak sehingga memerlukan area lahan yang luas dan ketersediaan bahan kimia secara terus-menerus (*continous*). Sebuah metode yang lebih efisien dan murah untuk mengolah air limbah dengan jenis polutan yang bervariasi serta meminimisasi bahan aditif adalah diperlukan dalam manajemen keberlanjutan air. Elektrokoagulasi adalah metode pengolahan yang mampu menjawab permasalahan tersebut. (Peter, H. 2006)

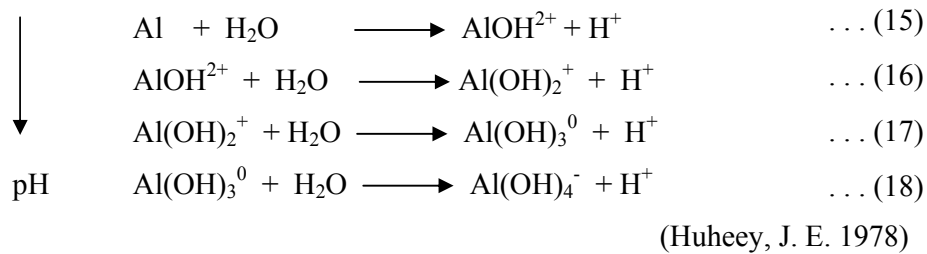
Proses elektrokoagulasi terbentuk melalui pelarutan logam dari anoda yang kemudian berinteraksi secara simultan dengan ion hidroksi dan gas hidrogen yang dihasilkan dari katoda. Elektrokoagulasi telah ada sejak tahun 1889 yang dikenalkan oleh Vik et al dengan membuat suatu instalasi pengolahan untuk limbah rumah tangga (*sewage*). Tahun 1909 di *United States*, J.T. Harries telah mematenkan pengolahan air limbah dengan sistem elektrolisis menggunakan anoda alumunium dan besi. Matteson (1995) memperkenalkan “*Electronic Coagulator*” dimana arus listrik yang diberikan ke anoda akan melarutkan Alumunium ke dalam larutan yang kemudian bereaksi dengan ion hidroksi (dari katoda) membentuk aluminium hidroksi. Hidroksi mengflokulasi dan mengkoagulasi partikel tersuspensi sehingga terjadi proses pemisahan zat padat dari air limbah. Proses yang mirip juga telah dilakukan di Brittain tahun 1956 (Matteson et al., 1995) hanya anoda yang digunakan adalah besi dan digunakan untuk mengolah air sungai.

Sekarang ini elektrokoagulasi telah dipasarkan oleh beberapa perusahaan di beberapa negara. Berbagai macam desain telah dibuat namun tak ada yang dominan. Seringnya unit elektrokoagulasi digunakan untuk menggantikan bahan kimia dan jarang yang memanfaatkan gas hidrogen untuk proses flotasi.

Sebuah arus yang dilewatkan ke elektroda logam maka akan mengoksidasi logam (M) tersebut menjadi logam kation (M^+), sedangkan air akan mengalami reduksi menghasilkan gas hidrogen (H_2) dan ion hidroksi (OH^-). Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut:



Kation menghidrolisis di dalam air membentuk sebuah hidroksi dengan spesies dominan yang tergantung pada kondisi pH larutan. Untuk kasus anoda alumunium maka reaksi yang terjadi adalah:



Kation bermuatan tinggi mendestabilisasi beberapa partikel koloid dengan membentuk polivalen polihidroksi kompleks. Senyawa kompleks ini mempunyai sisi yang mudah diadsorpsi, membentuk gumpalan (*aggregates*) dengan polutan. Pelepasan gas hidrogen akan membantu pencampuran dan pembentukan flok. Flok yang dihasilkan oleh gas hidrogen akan diflotasikan ke permukaan reaktor.

Ada beberapa macam interaksi spesies dalam larutan pada proses elektrokoagulasi, yaitu:

1. Migrasi ke elektroda yang bermuatan berlawanan (*electrophoresis*) dan penggabungan (*aggregation*) untuk membentuk senyawa netral.
2. Kation atau ion hidroksi (OH^-) membentuk endapan dengan polutan.
3. Logam kation berinteraksi dengan OH^- membentuk hidroksi, yang mempunyai sisi yang mengadsorpsi polutan (*bridge coagulation*)
4. Hidroksi membentuk struktur besar dan membersihkan polutan (*sweep coagulation*)
5. Oksidasi polutan sehingga mengurangi toxicitinya
6. Penghilangan melalui elektroflotasi dan adhesi gelembung udara.

Proses ini dapat mengambil lebih dari 99% kation beberapa logam berat dan dapat juga membunuh mikroorganisme dalam air. Proses ini juga dapat mengendapkan koloid-koloid yang bermuatan dan menghilangkan ion-ion lain, koloid-koloid, dan emulsi-emulsi dalam jumlah yang signifikan. (Renk, 1989; Duffey, 1983; Fraco, 1974)

Aplikasi yang potensial pada bidang pertanian dan perbaikan kualitas hidup masyarakat pedesaan adalah untuk menghilangkan bakteri patogen dalam air minum dan untuk dekontaminasi air pencuci pada pemrosesan makanan.

Koagulasi adalah salah satu operasi fisiokimia terpenting yang digunakan dalam pengolahan air. Ini adalah sebuah proses yang digunakan untuk destabilisasi dan penggumpalan partikel-partikel kecil menjadi partikel yang lebih besar. Kontaminan-kontaminan air seperti ion-ion (logam berat) dan koloid (organik dan anorganik) terdapat dalam larutan utamanya disebabkan oleh muatan listrik. Molekul koloid dapat didestabilisasi dengan cara menambahkan ion-ion yang muatannya berlawanan dengan muatan koloid tersebut (Benefield, et al.,1982). Destabilisasi koloid tersebut akan menghasilkan flok dan kemudian dipisahkan dengan flotasi, sedimentasi dan/atau filtrasi.

Koagulasi dapat diperoleh dengan cara kimia maupun listrik. Koagulasi kimiawi sekarang ini menjadi kurang diminati karena biaya pengolahan yang tinggi, menghasilkan volume lumpur yang besar, pengelompokan logam hidroksida sebagai limbah berbahaya, dan biaya untuk bahan kimia yang membantu koagulasi.

Koagulasi kimiawi telah digunakan selama puluhan tahun untuk mendestabilisasi suspensi dan untuk membantu pengendapan spesies logam yang terlarut. *Alum*, *lime*, dan/atau polimer-polimer lain adalah koagulan-koagulan kimia yang sering digunakan. Proses ini, bagaimanapun, cenderung menghasilkan sejumlah besar lumpur dengan kandungan ikatan air yang tinggi yang dapat memperlambat proses filtrasi dan mempersulit proses penghilangan air (*dewater*). Proses ini juga cenderung meningkatkan kandungan TDS dalam *effluent*, sehingga menyebabkan proses ini tidak dapat digunakan dalam aplikasi industri.(Benefield, 1982)

Elektro-koagulasi seringkali dapat menetralkan muatan-muatan partikel dan ion, sehingga bisa mengendapkan kontaminan-kontaminan, menurunkan konsentrasi lebih rendah dari yang bisa dicapai dengan pengendapan kimiawi, dan dapat menggantikan dan/atau mengurangi penggunaan bahan-bahan kimia yang mahal (garam logam, polimer).

Meskipun mekanisme elektro-koagulasi mirip dengan koagulasi kimiawi dalam hal spesies kation yang berperan dalam netralisasi muatan-muatan permukaan, tetapi karakteristik flok yang dihasilkan oleh elektro-koagulasi

berbeda secara dramatis dengan flok yang dihasilkan oleh koagulasi kimiawi. Flok dari elektro-koagulasi cenderung mengandung sedikit ikatan air, lebih stabil dan lebih mudah disaring. (Woytowich, 1993)

2.4. Flotasi

Proses-proses lain diperlukan untuk menghilangkan minyak bebas yang tertinggal dari pemisahan secara gravitasi atau kandungan minyak teremulsikan. Flotasi merupakan salah satu metode terbaik untuk memisahkan atau menghilangkan minyak teremulsikan pada air limbah. Metode ini mampu bekerja pada konsentrasi minyak 5 – 100 mg/l. Proses flotasi terdiri dari pipa penghasil gelembung udara yang kemudian dilewatkan pada media air limbah sehingga terjadi gaya dorong ke arah permukaan. Ketika gelembung bergerak ke atas, gelembung mengikat partikel padat (solid) dan minyak untuk didorong ke permukaan. (Metcalf, 1991)

Proses flotasi jelas merupakan interaksi antara gelembung udara dengan sebuah fasa terdispersi dimana kecepatan gaya dorong ke atas sangat tergantung pada gaya gravitasi dan dispersi. Flotasi juga dipengaruhi oleh konsentrasi permukaan dari fasa terdispersi dan pemakaian bahan kimia sebagai penurun tegangan antara solid /minyak terhadap media air.

Ada dua metode flotasi, yaitu udara terlarut dan udara terinduksi. Flotasi udara terlarut (Disolved Air Flotation) menghasilkan gelembung-gelembung udara melalui pengendapan udara dari sebuah larutan super jenuh. Pada flotasi udara terinduksi gelembung udara dihasilkan melalui baling-baling mekanik, gas difusi pada media berpori-pori atau homogenitas antara gas dan aliran liquid. Perbedaan utama dari kedua metode ini adalah pada ukuran gelembung udara yang dihasilkan. Pada flotasi udara terlarut, ukuran diameter gelembung udara yang dihasilkan rata-rata 10 - 100 μ m.

Pada proses DAF, air limbah adalah terjenuhkan dengan udara pada kondisi bertekanan dan dilewatkan ke dalam bagian peralatan flotasi pada tekanan atmosfer. Pada tekanan turun, udara mengendap dalam bentuk gelembung-

gelembung kecil yang berinteraksi dengan fasa terdispersi dan bergerak bersama ke permukaan. material terflotasi kemudian dipisahkan dengan sebuah *scraper* mekanik.

Proses flotasi udara terinduksi terjadi karena udara dimasukkan dan didispersikan (disebarkan) dalam tangki pemisahan pada tekanan (p) ambient. Proses flotasi udara terinduksi beroperasi pada tekanan mendekati ambient dengan gas yang terinduksikan ke dalam air limbah tanpa penekanan eksternal. Semua kontaminan terapung dan tidak diperlukan perlengkapan *scraper* atau sel penghilang padatan dibagian bawah. IAF (*induksi air flotation*) adalah sebuah unit dengan waktu tinggal rendah yang menggunakan udara dalam jumlah relatif besar.

Pemakaian bahan kimia secara prinsip pada konsep koagulan dan flokulan membantu pembentukan gelembung yang terkandung solid polutan. Partikel-partikel terflokulan lebih cepat terbentuk dan pengolahan lebih efektif. Konsentrasi solid pada proses flotasi rata-rata lebih besar 10% dibanding dengan koagulan alum, feri klorida dan polielektrolit. (Paul, 1995; Walter, 1981; Metcalf, 2003)

Mekanisme kontak solid dengan gelembung udara dalam sistem flotasi terdiri dari pengapungan, penyerapan, dan pelekatan. Pengapungan terjadi karena ikatan antara gelembung gas dengan solid yang berlangsung secara fisik. Penyerapan berlangsung pada struktur flokulan padat tersuspensi terhadap gelembung gas. Pelekatan terjadi gaya tarik intra molekular yang digunakan pada suatu permukaan antara dua fasa dan mengakibatkan tegangan permukaan.

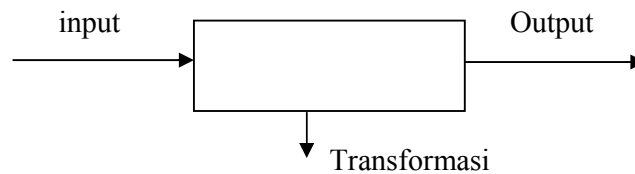
Pada pemisahan solid-cair dengan berat jenis yang lebih besar dari pada cairannya, yang penting adalah pelekatan antar solid dan gelembung gas harus lebih besar dari pada kecenderungan liquid membasahi solid. Kecepatan solid naik kepermukaan adalah:

$$V_t = \left[\frac{4d_p g (\rho_w - \rho_p)}{3C_d \rho_p} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (19)$$

Ket: V_t : Kecepatan naik solid (cm/s^2)
 d_p : Diameter solid (cm)
 g : Kecepatan grafitasi (cm/s^2)
 ρ_w dan ρ_p : Kerapatan jenis air dan solid (g/cm^3)
 C_d : Koefisien seret

2.5. Transformasi Polutan

Metode yang digunakan untuk membuat model dilakukan berdasarkan input-output pada suatu sistem. Ilustrasinya seperti gambar 1.



Gambar 1. Diagram model input-output pada suatu sistem elektro-flotasi

Model input-output digabung dengan hukum kekekalan yaitu Hukum Kekekalan Massa, Momentum dan Energi. Digunakan untuk mengembangkan model berdasarkan persamaan:

$$\text{Input} = \text{Output} + \text{Transformasi} \quad \dots (20)$$

$$\text{Transformasi} = \text{Input} - \text{Output} \quad \dots (21)$$

Apabila dalam suatu sistem mengalir input dan output secara terus menerus, maka digunakan Kekekalan Massa, Momentum, dan Energi. Persamaan model selanjutnya dinyatakan dalam bentuk laju input, laju output, dan laju transformasi.

$$\text{Laju Transformasi} = \text{Laju Input} - \text{Laju Output} \quad \dots (22)$$

$$V_{\text{elektro-ko}} = Q_0 C_0 - QC \quad \dots (23)$$

$$dw/dt = Q_0 C_0 - QC \quad \dots (24)$$

$$\frac{MI}{96500n_e} = Q_o C_o - QC \quad \dots\dots\dots (25)$$

Ket M : Massa atom relatif (g/mol)
 I : Arus (Amper)
 n_e : Valensi logam
 Q_o : Debit input (l/s)
 Q : Debit output (l/s)
 C_o : Konsentrasi input (mol/l)
 C : Konsentrasi output (mol/l)

(Purwanto, 2005)

BAB III METODOLOGI

3.1. Ruang Lingkup Penelitian

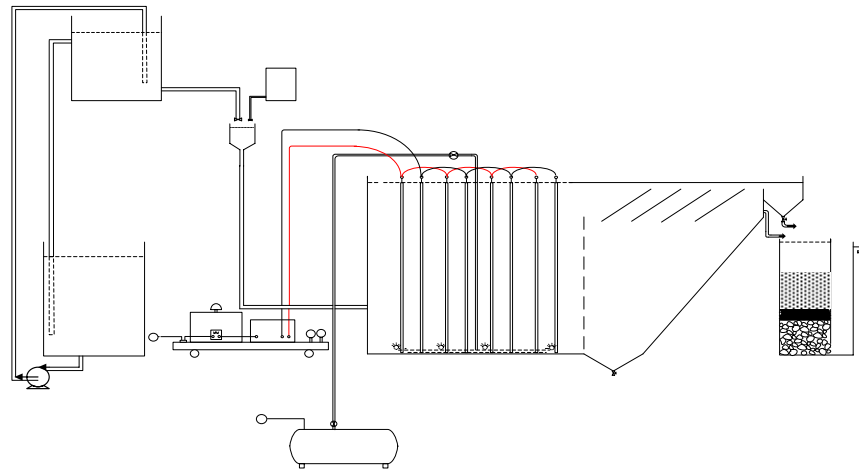
1. Penelitian dilakukan pada air limbah yang dihasilkan dari salah satu industri berbasis logam dengan jenis proses produksinya adalah machining, assembling, dan undercoating (PT Kubota Semarang)
2. Pencarian kondisi operasi pengolahan dilakukan hanya pada proses elektrokoagulasi

3.2. Rancangan Percobaan

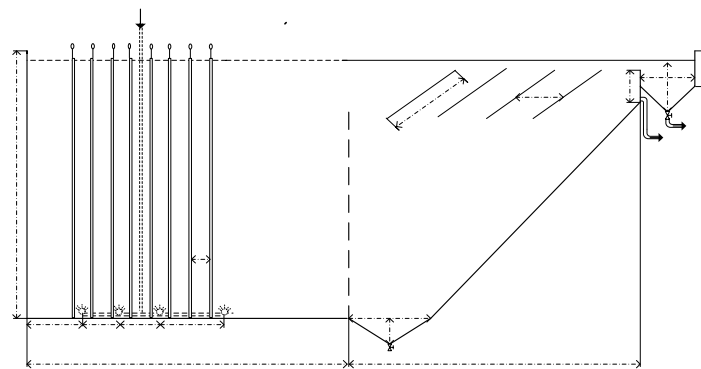
3.2.1. Bahan

- Air limbah
- NaOH
- HCl
- Larutan standar Ni, Cu, Zn, dan Pb
- Pelarut CCl₄
- Larutan standar Potasium Dikromat (K₂Cr₂O₇)
- Perak Sulfat (Ag₂SO₄)
- Larutan Indikator Ferro
- larutan standar Fero Amonium Sulfat (FAS)
- Merkuri Sulfat (HgSO₄)
- Asam Sulfat (H₂SO₄)
- Air bebas logam
- Asam Klorida (HCl)
- Asam Nitrat (HNO₃)
- Kalsium Karbonat (CaCO₃)

3.2.2. Alat



BAK UMPAN

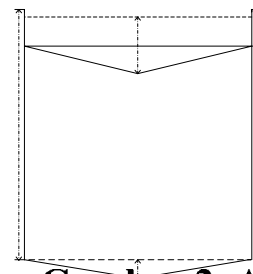
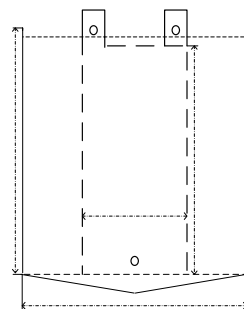
NaOH
/ HCl

BAK EQUALISASI

Z

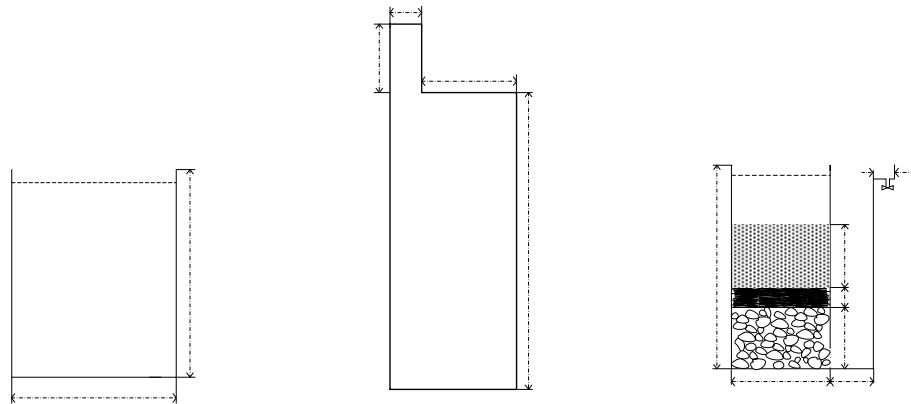
A V

POWER SUPPLY



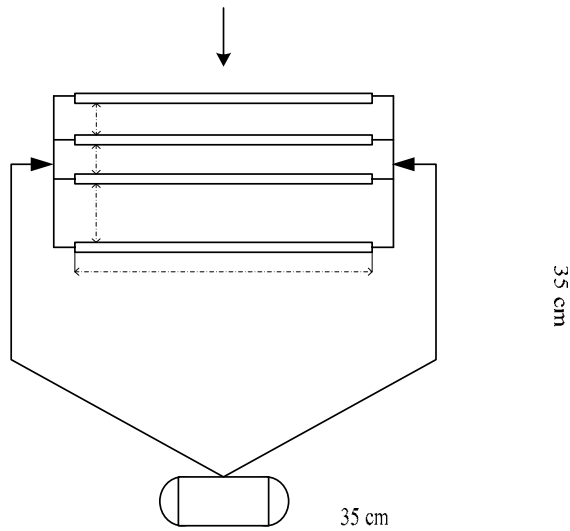
KOMPRESOR

Gambar 2. Alat Proses Elektrokoagulasi



5 cm

7 cm

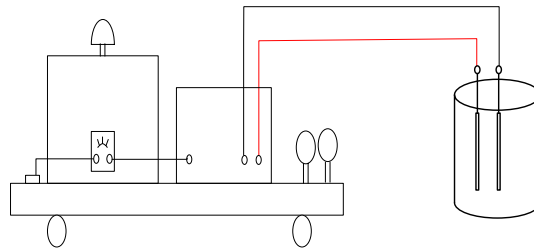


Dimensi Bak Umpan

Dimensi

- Bak feeding 40 liter
- Bak proses 300 liter
- Bak filter 30 liter
- Regulator 3000 watt
- Charger 60 Amper
- Voltmeter 50 volt
- Amper meter 60 amper
- Kanoda Fe 25 cm x 50 cm (4 buah)
- Anoda Al 25 cm x 50 cm (4 buah)
- Bubble Distributor 50 cm (4 buah)
- Kompresor ½ pk
- Buret

- Refluk
- Timbangan analitik
- Alat gelas
- Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)
- Oven
- Destilasi
- Pompa vakum
- pH meter
- Corong pisah



- Regulator
- Gelas beker 500 ml
- Elektroda Al-Fe
- Charger

3.2.3. Kondisi Operasi

- Variabel bebas:
 - * Rapat arus (Ampere/m²) 10, 20, 30, 40, dan 50
 - * pH 7, 8, dan 9
 - * Laju alir (liter/menit) 2, 4, dan 6
- Variabel kendali:
 - * Tekanan udara ke tiap ujung bubble distributor untuk proses flotasi 0,16 bar
 - * Jenis anoda (Al) dan Katoda (Fe) dengan jarak 2,5 cm
 - * Sumber air limbah (dari bak equalisasi IPAL PT. Kubota)
- Variabel tergantung:
 - * COD, TSS, Minyak, dan logam berat (Ni, Cr, Pb, Zn)

POWER SUPPLY

Gambar 3. Alat Percobaan Pendahu

3.2.4. Pelaksanaan Kegiatan

3.2.4.1. Rancangan Percobaan Pendahuluan

- a. Masukkan 500 ml sampel air limbah ke dalam gelas beker 500 ml
- b. Lakukan percobaan dengan kondisi operasi adalah sebagai berikut:
 - Rapat arus tertinggi 50 A/m² (+) dan terendah 10 (-) A/m²
 - pH tertinggi 9 (+) dan terendah 7 (-)
 - Waktu tertinggi 5 menit (+) dan terendah 0,5 menit (-)
- c. Ambil filtrat hasil eksperimen dan ukur kandungan COD dengan menggunakan metode analisis SM 5220 B

R	Rapat arus (Ampere/m ²)	pH	Waktu (menit)	Respon COD
0				
1	-	-	-	
2	+	-	-	
3	-	+	-	
4	+	+	-	
5	-	-	+	
6	+	-	+	
7	-	+	+	
8	+	+	+	

3.2.4.2.1. Uji Coba Peralatan pada berbagai Kondisi Operasi

- a. Masukkan air limbah dari bak equalisasi IPAL PT Kubota ke dalam bak feeding
- b. Diambil sampel untuk di analisis parameter TSS, COD, logam (Cr, Zn, Pb, Ni), dan minyak sebanyak 3 kali, yaitu pada awal proses produksi, 4 jam setelahnya, dan 8 jam setelahnya sebagai data awal sebelum proses

- c. Alirkan air limbah ke bak proses melalui corong kontrol, atur laju alir 2 liter/menit dan pH dengan penambahan HCl atau NaOH sehingga didapatkan nilai pH 7 untuk variabel operasi pertama.
- d. Berikan rapat arus listrik DC sebesar 10 A/m^2 ke rangkaian elektroda dengan cara mengatur regulator, charger, dan tegangan
- e. Operasikan sistem flotasi yang telah di pasang pada peralatan proses pengolahan di atas dengan cara : membuka kran aliran udara pada kompresor sehingga dihasilkan gelembung-gelembung udara pada bak proses.
- f. Lakukan pengambilan sampel pada titik effluent setelah 15 menit dari waktu tinggal untuk di analisis parameter TSS, COD, logam, dan minyak sebagai data hasil proses
- g. Ulangi langkah (d) dengan rapat arus 20 A/m^2 dilanjutkan ke langkah (f)
- h. Ulangi langkah (d) dengan rapat arus 30 A/m^2 dilanjutkan ke langkah (f)
- i. Ulangi langkah (d) dengan rapat arus 40 A/m^2 dilanjutkan ke langkah (f)
- j. Ulangi langkah (d) dengan rapat arus 50 A/m^2 dilanjutkan ke langkah (f)
- k. Ulangi langkah (c) dengan pengaturan laju alir 4 liter/menit dilanjutkan ke langkah (d) hingga (j)
- l. Ulangi langkah (c) dengan pengaturan laju alir 6 liter/menit dilanjutkan ke langkah (d) hingga (j)
- m. Ulangi langkah (c) dengan pengaturan nilai pH pada bak feeding adalah 8 dilanjutkan ke langkah (d) hingga (l)
- n. Ulangi langkah (c) dengan pengaturan nilai pH pada bak feeding adalah 9 dilanjutkan ke langkah (d) hingga (l)

3.2.4.2.2. Metode Pengambilan Sampel

Sampel yang digunakan untuk umpan proses penelitian diambil dari bak equalisasi IPAL, untuk mengetahui kualitas air limbah ini dilakukan pengambilan contoh uji (analit) sebanyak 3 kali, yaitu pada awal proses produksi, 4 jam setelah itu, dan 8 jam setelah itu. Sampel hasil proses penelitian diambil pada titik effluent (setelah bak filtrasi dari alat penelitian) setelah 15 menit dari waktu tinggal

3.2.4.2.3. Analisa Contoh Hasil Pengoperasian

- a. Penyiapan sampel dari langkah 3.2.4.2.1.b dan 3.2.4.2.1.f
- b. Ukur kandungan COD pada masing-masing sampel dengan metode SM 5220 B
- c. Ukur kandungan TSS pada masing-masing sampel dengan metode SM 2540 D
- d. Ukur kandungan logam pada masing-masing sampel dengan metode SM 3111 B
- e. Ukur kandungan minyak pada masing-masing sampel dengan metode SM 5520 C
- f. Catat semua hasil pengukuran dalam tabel di bawah ini

N0	pH	Laju alir (Liter/menit)	Rapat Arus (Amper/m ²)	COD (mg/l)	TSS (mg/l)	Minyak (mg/l)	Logam: Pb,Ni,Cr,Zn (mg/l)
1	7	2	10				
2			20				
3			30				
4			40				
5			50				
6		4	10				
7			20				
8			30				
9			40				
10			50				
11		6	10				
12			20				

13			30				
14			40				
15			50				
16	8	2	10				
17			20				
18			30				
19			40				
20			50				
21		4	10				
22			20				
23			30				
24			40				
25			50				
26		6	10				
27			20				
28			30				
29			40				
30			50				
31	9	2	10				
32			20				
33			30				
34			40				
35			50				
36		4	10				
37			20				
38			30				
39			40				
40			50				
41		6	10				
42			20				
43			30				
44			40				
45			50				

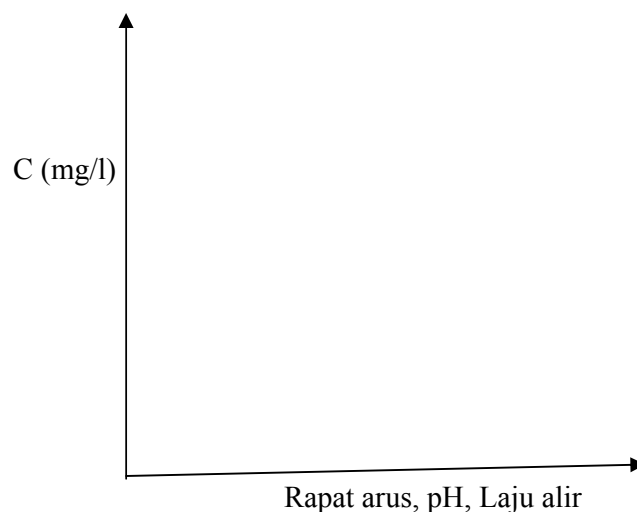
3.2.4.3. Penentuan Neraca Massa Polutan Logam

- a. Siapkan 1000 ml air limbah dan tambahkan 1 ml standar logam untuk tiap-tiap polutan logam dari larutan stok 1000 mg/l

- b. Ambil 500 ml dari larutan (a), masukan ke beker gelas 500 ml. Pasang anoda-katoda Al-Fe dan alirkan rapat arus sebesar 40 A/m^2 selama 5 menit
- c. Pisahkan filtrat dan sludge yang dihasilkan dengan cara penyaringan
- d. Filtrat dianalisa kandungan polutan logamnya, untuk logam Ni, Zn, Pb, dan Cr total menggunakan AAS, sedang logam Al dan Cr^{6+} menggunakan UV-VIS Spektrofotometer.
- e. Sludge yang dihasilkan ditimbang dan didestruksi menggunakan asam perklorat (HClO_4) dengan dibantu pemanasan agar penguraianya sempurna.
- f. Saring hasil destruksi pada labu ukur 250 ml dan tepatkan dengan aquades hingga tanda batas. Ukur kandungan polutan logam seperti langkah (d).

3.3. Analisis Data

Dibuat kurva konsentrasi pencemar (COD, TSS, Minyak, Logam berat: Zn, Ni, Pb, Cr) sebagai fungsi rapat arus (Amper/m^2), pH, dan laju alir. Data dihasilkan dari langkah 3.2.4.2.2.



3.4. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang dipilih adalah di Balai Besar Teknologi Penanggulangan Pencemaran Industri (BBTPPI) Semarang tepatnya di laboratorium penelitian lingkungan dan di sala satu industri berbasis logam (PT Kubota Indonesia)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perkiraan Efek Utama

Dalam penelitian ini dipilih tiga variabel bebas, yaitu : rapat arus, pH, dan waktu (laju alir). Ketiga variabel ini diduga mempunyai efek positif terhadap variabel keadaan yang merupakan target dalam penelitian ini. Untuk menyakinkan dan mengetahui seberapa besar pengaruh masing-masing variabel bebas maka dilakukan percobaan pendahuluan. Sistem yang digunakan adalah batch dengan peralatan sederhana sehingga pelaksanaannya mudah dan cepat. Jenis anoda-katoda yang digunakan adalah sama dengan peralatan utama (gambar 2) hanya ukurannya lebih kecil. Luas aktif elektroda 5 cm x 8 cm dengan jarak 2,5 cm. Pasangan elektroda ini kemudian dimasukkan dalam beker gelas 500 ml dan dialirkan arus dengan waktu tertentu sesuai cara kerja pada **3.2.4.1** Bab tiga. Parameter yang dipilih pada variabel keadaan adalah COD (Chemical Oxygen Demand), dengan alasan proses analisis cepat, representatif, mudah, dan murah.

Larutan hasil percobaan kemudian dianalisis sesuai dengan prosedur pengukuran COD sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. Konsentrasi COD pada berbagai kondisi operasi (rapat arus, pH, waktu)

R	Rapat arus (Ampere/m²)	pH	Waktu (menit)	Respon COD (ppm)
0				386,7
1	-	-	-	174,6
2	+	-	-	113,7
3	-	+	-	122,0
4	+	+	-	133,7
5	-	-	+	149,0
6	+	-	+	106,7
7	-	+	+	146,2
8	+	+	+	101,9

Ket : Rapat arus tertinggi 50 (+) dan terendah 10 (-), pH tertinggi 9 (+) dan terendah 7 (-)
 Waktu tertinggi 5 menit (+) dan terendah 0,5 menit (-)

Bila variabel Rapat arus = X1, pH = X2, dan waktu = X3, maka:

Rancangan			Perkalian dari Kolom Rancangan				Respon
X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3	X1X2X3	
-	-	-	+	+	+	-	Y1 = 212,1
+	-	-	-	-	+	+	Y2 = 273,0
-	+	-	-	+	-	+	Y3 = 264,7
+	+	-	+	-	-	-	Y4 = 253,0
-	-	+	+	-	-	+	Y5 = 237,7
+	-	+	-	+	-	-	Y6 = 280,0
-	+	+	-	-	+	-	Y7 = 240,5
+	+	+	+	+	+	+	Y8 = 284,8

Perkiraan Efek Utama

$$\begin{aligned}
 \text{- Efek Rapat arus (X1)} &= 1/(2^{3-1}) (-Y1+Y2-Y3+Y4-Y5+Y6-Y7+Y8) \\
 &= 33,95 \\
 \text{- Efek pH (X2)} &= 1/(2^{3-1}) (-Y1-Y2+Y3+Y4-Y5-Y6+Y7+Y8) \\
 &= 10,5 \\
 \text{- Efek Waktu (X1)} &= 1/(2^{3-1}) (-Y1-Y2-Y3-Y4+Y5+Y6+Y7+Y8) \\
 &= 10,5
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka dapat diketahui bahwa ketiga variabel bebas mempunyai efek positif terhadap variabel keadaan atau respon. Di antara ketiga variabel di atas maka variabel rapat arus memberikan kontribusi yang paling besar. Kontribusi rapat arus terhadap variabel respon terjadi karena arus yang diberikan kepada anoda akan melarutkan logam anoda ke dalam larutan menjadi kation logam (M^+). Kation logam yang terbentuk kemudian berinteraksi dengan ion hidroksi (OH^-) membentuk koagulan $Al(OH)_x$. Koagulan ini akan berinteraksi dengan berbagai macam zat pencemar (polutan) membentuk flok

yang tidak larut dan terflotasi ke atas oleh gas hidrogen (H_2) yang dihasilkan oleh katoda dan gas oksigen (O_2) yang dihasilkan oleh anoda.

Kontribusi variabel pH pada eksperimen ini juga positif karena kenaikan pH akan memudahkan pembentukan ion hidroksi dan menaikkan konduktivitas larutan, sehingga interaksi antar koagulan dan polutan akan semakin meningkat.

Kontribusi waktu (laju alir dalam sistem kontinu) adalah berkaitan pada jumlah kation logam atau koagulan, hal ini sesuai dengan hukum Faraday dimana jumlah kation logam yang terbentuk berbanding lurus dengan waktu. Semakin lama waktu yang digunakan maka akan semakin banyak kation logam terbentuk dan semakin banyak peluang interaksi koagulan dengan polutan.

4.2. Identifikasi Kandungan Air Limbah (Bak Equalisasi) di Industri Berbasis Logam (PT. Kubota Indonesia)

Sampel atau contoh limbah yang akan digunakan atau diumpankan pada sistem pengolahan terlebih dahulu dilakukan analisis kandungan polutan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kualitas awal air limbah sehingga data yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengukur efisiensi penurunan polutan setelah dilakukan proses pengolahan dan sebagai data pada rapat arus nol.

Sampel yang digunakan dalam penelitian di ambil dari bak equalisasi IPAL PT Kubota Indonesia dengan alasan bahwa air limbah yang telah berada pada bak equalisasi telah mengalami penyeragaman kualitas limbah yang berasal dari ketiga sumber yaitu *machining*, *assembling*, dan *undercoating*. Untuk mengetahui kualitas rata-rata dari setiap parameter COD, TSS, minyak, dan logam berat maka dilakukan 3 kali pengambilan sampel sebagai contoh uji, yaitu pada awal proses produksi, 4 jam setelahnya, dan 8 jam setelahnya. Penentuan jenis parameter yang dianalisis berdasarkan kandungan yang dominan ada pada air limbah tersebut, yaitu ; COD, TSS, Minyak, dan logam berat (Cr, Zn, Ni, Pb). Adapun hasil pengukuran yang diperoleh terdapat pada tabel di bawah ini:

Tabel 3. Kandungan polutan air limbah pada bak equalisasi

No	Parameter	Satuan	Contoh uji			Rata ⁻²
			Awal	4 jam	8 jam	
1	COD	mg/l	392	420	408	406
2	TSS	mg/l	86	112	92	96
3	Minyak Total	mg/l	50	58	53	54
4	Logam Chrom (Cr)	mg/l	0,086	0,083	0,091	0,086
5	Logam Seng (Zn)	mg/l	4,445	4,812	4,327	4,527
6	Logam Nikel (Ni)	mg/l	0,764	0,805	0,732	0,767
7	Logam Timbal (Pb)	mg/l	0,400	0,455	0,393	0,416

Ket :
 - COD (Chemical Oxygen Demand)
 - TSS (Total Suspended Solid)
 - SM (*Standart Methods*)

COD merupakan kuantitas atau jumlah oksidan yang bereaksi dengan sampel pada kondisi tertentu. Jumlah oksidan yang terpakai sebanding dengan kebutuhan oksigen. Senyawa organik dan anorganik di dalam sampel adalah subyek yang teroksidasi tetapi senyawa organik lebih dominan. COD sering digunakan sebagai ukuran kuantitas polutan di dalam suatu air limbah. Jika air limbah diatas mengandung COD 406 mg/l maka ini berarti terdapat material polutan di air limbah tersebut sebanyak 406 mg dalam satu literanya yang berarti juga akan menurunkan jumlah oksigen sebanyak itu pada air limbah. Sumber COD pada limbah tersebut adalah oli/pelumas/minyak, surfactan, emulcat, cat dan logam-logam oksidator, dimana material-material ini di dalam air limbah dalam bentuk tersuspensi, teremulsi, terkoloid, dan terlarut.

TSS atau total padatan yang tersuspensi merupakan faktor penting yang akan mudah dikenali dalam mengukur kualitas suatu air karena secara fisik dapat dilihat, jika suatu air limbah mengandung TSS tinggi maka dapat langsung disimpulkan bahwa limbah berkualitas jelek dan berpotensi merusak ekosistem khususnya di aquatik. Analisis kandungan padatan tersuspensi (TSS) adalah penting dalam keperluan mengatur atau menentukan proses pengolahan limbah baik secara biologi maupun fisika dan salah satu syarat kunci untuk perizinan pembuangan air limbah ke lingkungan. Sumber polutan TSS adalah bahan-bahan kimia baik organik maupun anorganik yang membentuk suspensi pada air limbah

tersebut. Selain itu sumber TSS juga berasal dari logam-logam yang membentuk senyawa kompleks baik dengan ligan hidroksida atau anion-anion lain yang senyawa ini tersuspensi didalam larutan limbah baik karena sifat ukuran molekul senyawanya maupun sifat kepolaran yang dimiliki.

Minyak termasuk salah satu golongan senyawa organik, meningkatnya kandungan minyak di dalam suatu air limbah akan menurunkan kualitas air tersebut. Umumnya minyak termasuk senyawa yang agak sulit terdegradasi oleh mikroorganisme sehingga keberadaanya akan bertahan lama (*presistan*). Sumbangan terbesar material minyak di dalam air limbah ini berasal dari proses *machining*, karena pada proses ini digunakan bahan-bahan pelumas/minyak untuk keperluan proses. Di PT. Kubota Indonesia, untuk limbah yang dihasilkan dari proses *machining* sebelum masuk ke bak equalisasi dilakukan suatu proses pemisahan. Dasar pemisahannya adalah perbedaan berat jenis/densitas antara minyak dengan air. Dengan pemisahan ini minyak akan terkonsentrasi atau membentuk lapisan pada permukaan sedangkan air berada dibawahnya. Namun demikian masih terdapat sekitar 54 ppm minyak terlarut yang tidak dapat lagi dipisahkan dengan tehnik perbedaan densitas.

Selain mengandung COD, TSS, dan minyak, air limbah di atas juga terdapat logam-logam berat, yaitu : Pb, Cr, Ni, dan Zn. Logam Pb termasuk logam toxic dan racun yang terakumulasi, EPA (*Enviromental Protection Agency*) menetapkan batas maksimum kandungan Pb pada air minum adalah 0,015 mg/l. Logam berat Chrom (Cr) adalah bersifat karsinogenic melalui pernapasan dan bersifat korosif terhadap jaringan saraf. Standar untuk air minum bagi EPA untuk logam Cr adalah 0,1 mg/l. Logam Zn adalah elemen esensial untuk tumbuh-tumbuhan dan hewan tetapi pada level tertentu adalah toxic terutama pada ekosistem aquatik. *The United Nations Food and Agriculture Organization* merekomendasikan batas maksimum logam Pb pada air irigasi adalah 2 mg/l sedangkan logam Ni adalah 0,2 mg/l dan 0,1 mg/l pada air minum (APHA, Standart Methods, 1998). Sumber utama penghasil polutan logam pada air limbah ini adalah pada proses *undercoating* karena beberapa elemen logam berat yang sengaja digunakan untuk melapisi bahan produk seperti ZnHPO_4 , $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$,

$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, dan cat. Selain itu terjadinya pelarutan dari material-material logam yang ada.

Berdasarkan hasil analisa dan uraian di atas maka pengolahan air limbah PT Kubota Indonesia merupakan keharusan agar tidak terjadi suatu pencemaran lingkungan. Melihat kualitas air limbah yang ada maka penggunaan sistem pengolahan yang tepat dibutuhkan dimana tidak hanya dapat menurunkan kandungan COD dan TSS saja tetapi juga minyak serta logam-logam berat. Teknologi elektro-koagulasi-flotasi adalah jawaban tepat untuk masalah ini karena disamping dapat menurunkan kandungan COD dan TSS melalui proses pembentukan koagulan juga terjadi adsorpsi terhadap logam-logam terlarut serta minyak yang terlarut juga akan mudah dipisahkan dengan adanya flotasi. Sumber flotasi berasal dari elektrokoagulasi dan *induksi air flotation* (IAF).

4.3. Penurunan Kandungan Polutan pada Kondisi Operasi

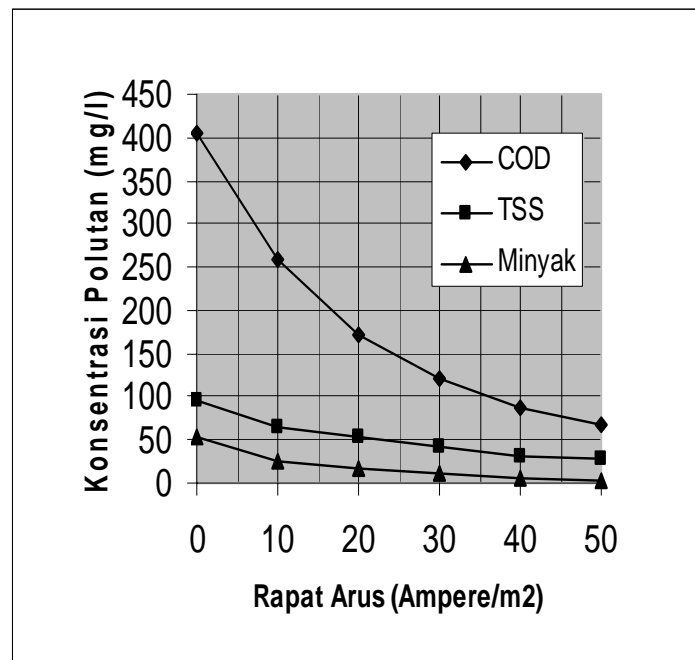
Untuk mengetahui lebih lanjut pengaruh variabel-variabel bebas serta sifat penurunan kandungan polutan untuk setiap perubahan nilai variabel bebas maka dilakukan percobaan dengan cara kerja sesuai butir **3.2.4.2.1**. Langkah kerja ini akan menghasilkan penurunan kandungan zat pencemar hingga memenuhi baku mutu yang disyaratkan sebagai salah satu tolok ukur keberhasilan sistem pengolahan yang digunakan sehingga kondisi operasi (rapat arus, pH, laju alir) yang menghasilkan kualitas air limbah dibawah baku mutu akan diperoleh. Sampel sebagai penghasil data ini, diambil dari titik effluent alat penelitian dengan rentang waktu 15 menit setelah waktu tinggal sehingga telah terjadi kesetabilan kualitas air limbah terolah. Data hasil percobaan secara rinci terdapat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4. Penurunan kandungan polutan akibat kenaikan rapat arus pada pH dan laju alir tertentu

N0	pH	Laju alir (l/menit)	Rapat Arus (Amper/m ²)	COD (mg/l)	TSS (mg/l)	Minyak (mg/l)	Logam (mg/l)			
							Pb	Cr	Ni	Zn
1	7	2	10	258,5	63,3	25,8	0,177	<0,03	0,576	0,725
2			20	170,2	52,1	17,5	0,083	<0,03	0,185	0,408
3			30	120,5	33,2	10,4	<0,03	<0,03	0,036	0,255
4			40	87,15	30	4,4	<0,03	<0,03	<0,01	0,185
5			50	67,32	28,2	2,8	<0,03	<0,03	<0,01	0,165
6		4	10	303,6	73,9	30,4	0,251	<0,03	0,662	0,851
7			20	187,6	54,3	21,4	0,145	<0,03	0,221	0,430
8			30	157,7	48,4	12	0,126	<0,03	0,183	0,277
9			40	140,1	42,8	6,4	0,084	<0,03	0,153	0,196
10			50	127,8	38,5	5,2	0,055	<0,03	0,132	0,173
11		6	10	315,8	76,3	32,5	0,264	<0,03	0,671	1,055
12			20	225,5	60,2	25,8	0,165	<0,03	0,252	0,932
13			30	179,2	54,7	16,3	0,155	<0,03	0,188	0,551
14			40	162,5	49,8	10,8	0,097	<0,03	0,157	0,252
15			50	153,6	46,4	7,5	0,074	<0,03	0,144	0,207
16	8	2	10	251,9	61,7	22,3	0,174	<0,03	0,496	0,700
17			20	152,3	46,0	16,2	0,05	<0,03	0,156	0,401
18			30	118,3	31,2	10,4	<0,03	<0,03	0,021	0,256
19			40	85,1	30	4,1	<0,03	<0,03	<0,01	0,180
20			50	65,77	28,0	2,5	<0,03	<0,03	<0,01	0,175
21		4	10	295,3	70	28,5	0,245	<0,03	0,652	0,850
22			20	183,2	53,5	17,2	0,140	<0,03	0,205	0,428
23			30	149,5	46	12,5	0,115	<0,03	0,180	0,288
24			40	136,2	37	8,8	0,054	<0,03	0,151	0,186
25			50	124,6	40,3	5,5	0,053	<0,03	0,130	0,169
26		6	10	312	77,8	30,4	0,252	<0,03	0,668	1,032
27			20	223,5	64,2	24,8	0,250	<0,03	0,250	0,925
28			30	178,3	52,2	17,5	0,154	<0,03	0,183	0,550
29			40	161,4	46,8	15,2	0,088	<0,03	0,154	0,250
30			50	151,2	44,5	6,8	0,074	<0,03	0,135	0,194
31	9	2	10	245,9	60,5	20,4	0,170	<0,03	0,455	0,701
32			20	148,8	44,3	14,2	<0,03	<0,03	0,148	0,402
33			30	115,3	31,8	8,4	<0,03	<0,03	0,02	0,240
34			40	83	28	3,8	<0,03	<0,03	<0,01	0,177
35			50	63,82	28,1	2,4	<0,03	<0,03	<0,01	0,168
36		4	10	293,5	68,2	28,0	0,243	<0,03	0,633	0,852
37			20	175,0	50,2	15,3	0,140	<0,03	0,201	0,425
38			30	145,7	41,7	10,5	0,113	<0,03	0,168	0,278
39			40	132,6	34	7,4	0,053	<0,03	0,148	0,177
40			50	122,8	32,2	5,3	0,050	<0,03	0,125	0,155
41		6	10	310,3	75,3	30,4	0,251	<0,03	0,654	1,030
42			20	219,9	64,2	22,4	0,196	<0,03	0,248	0,901
43			30	174,3	59,5	16,5	0,152	<0,03	0,180	1,541
44			40	160,1	53,0	14,2	0,081	<0,03	0,150	0,220
45			50	150,1	42,4	6,2	0,072	<0,03	0,130	0,173

4.3.1. Konsentrasi Pencemar/Polutan sebagai Fungsi Rapat arus

Untuk mengetahui hubungan atau korelasi rapat arus sebagai salah satu variabel bebas yang dipilih terhadap konsentrasi zat pencemar (COD, TSS, Minyak) maka dibuat grafik dibawah ini



Gambar 4. Konsentrasi pencemar (COD,TSS,Minyak) sebagai fungsi rapat arus (pH 7, laju alir 2 l/menit)

Berdasarkan grafik di atas maka dapat diketahui bahwa terjadi penurunan kandungan atau konsentrasi polutan (COD, TSS, Minyak) setiap kenaikan rapat arus. Fenomena ini menunjukkan kesesuaian hasil penelitian dengan hukum Faraday, yaitu: kenaikan arus berbanding lurus dengan jumlah logam anoda sebagai sumber koagulan yang terlarutkan. Tren penurunan dapat dengan jelas teramati melalui grafik di atas. Proses penurunan polutan terjadi melalui pembentukan koagulan Al(OH)_x yang dihasilkan oleh anoda Al dan ion OH^- yang berasal dari molekul H_2O .

Koagulan Al(OH)_x ini selanjutnya mengadsorbsi polutan-polutan yang ada ke dalam rongga molekulnya.

Koagulasi yang dihasilkan dari proses di atas disebut elektrokoagulasi. Selain itu koagulasi juga dapat terjadi dengan model penambahan bahan kimia tertentu. Bahan yang digunakan antara lain: Alum , lime, feriklorida (Fe_2Cl_3), ferrisulfat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) , ferrosulfat (FeSO_4), dan polimer. Walaupun prinsip kerja dari kedua koagulasi ini sama tetapi ada beberapa perbedaan, yaitu sludge yang dihasilkan dari proses koagulasi kimia mengandung air sepuluh kali lebih tinggi sehingga lebih sukar untuk dipisahkan dari media air (liquid) dan air hasil pengolahan pada sistem koagulasi kimia masih mengandung total dissolved solid (TDS) lebih tinggi (EPA/640/5-937504).

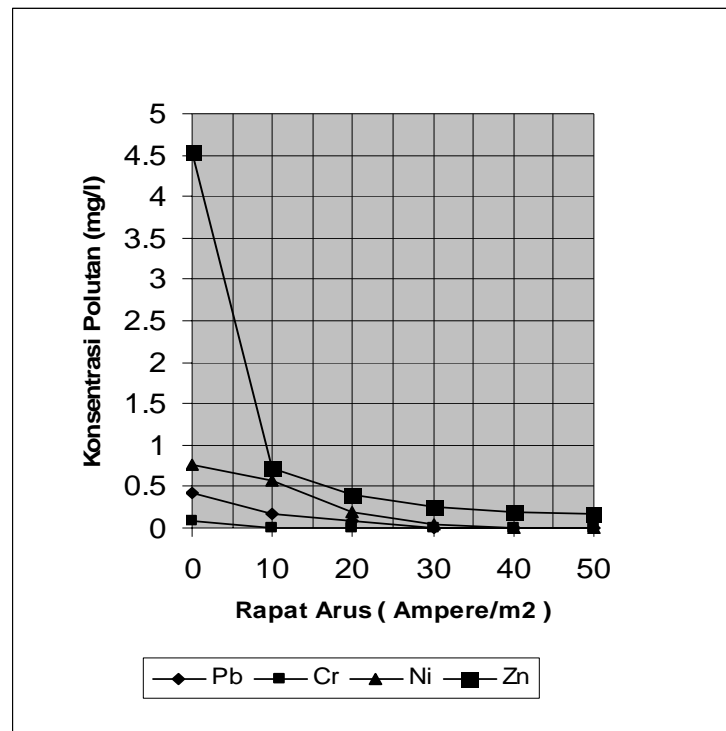
Proses penurunan TSS dapat difahami karena TSS adalah polutan yang berada dalam bentuk tersuspensi. Bila suatu materi tersuspensi maka material tersebut berbentuk solid dengan ukuran tertentu. Material solid ini dapat dengan mudah teradsorbsi ke dalam koagulan Al(OH)_x atau teradsorbsi ke dalam gelembung udara. Hasil adsorbsi ini akan terpisahkan ke atas (terflotasi) sehingga terjadi penurunan konsentrasi TSS di dalam air limbah.

Adapun polutan minyak penurunan kandungannya disebabkan oleh adsorbsi koagulan dan adsorbsi gelembung udara karena sifat hidrofob yang ada pada molekul minyak. Selain itu minyak atau pelumas yang berada dalam bentuk teremulsi akan mengalami pemecahan oleh ion oksigen dan hidrogen yang terikat pada molekul minyak sebagai sisi aktif dengan molekul air menghasilkan komplek yang tidak larut dalam air (Myers, D. 1999).

Kandungan COD berasal dari polutan minyak (senyawa hidrokarbon), surfactan, emulcat, cat, logam-logam oksida kuat, dan partikel-partikel lain yang tidak larut baik dalam bentuk tersuspensi maupun teremulsi. Proses penurunan COD yang berasal dari TSS dan Minyak dapat diketahui melalui penjelasan di atas, adapun sumber COD

yang berasal dari koloid proses penurunannya melalui destabilisasi. Destabilisasi koloid dilakukan oleh kation logam yang membentuk *polyvalen polyhydroxide complexes* (Peter H, 2006). Senyawa kompleks ini mempunyai sisi adsorpsi yang tinggi sehingga mempermudah terjadinya proses penggabungan (*aggregation*) dengan berbagai polutan yang membentuk material besar yang mudah dipisahkan dengan teknik flotasi karena densitas/berat jenis material menjadi lebih kecil (Myers, D. 1999).

Untuk zat pencemar/polutan logam berat, korelasi terhadap rapat arus dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



Gambar 5. Konsentrasi pencemar (Cr,Zn,Ni,Pb) sebagai fungsi rapat arus (pH 7, laju alir 2 l/menit)

Proses penuruna polutan logam berat selain melalui pembentukan senyawa logam hidroksida $[(M(OH)_x)]$ yang tak larut juga berasal dari proses pembentukan senyawa oksida logam kompleks (MAL_2O_4) (Huheey, J. E. 1978). Senyawa oksida logam kompleks ini tidak larut dalam air

sehingga dapat teradsorpsi oleh koagulan Al(OH)_x . Koagulan Al(OH)_x kemudian membentuk flok yang berinteraksi dengan gelembung udara sehingga dihasilkan flok yang berdensitas rendah dan bergerak ke permukaan.

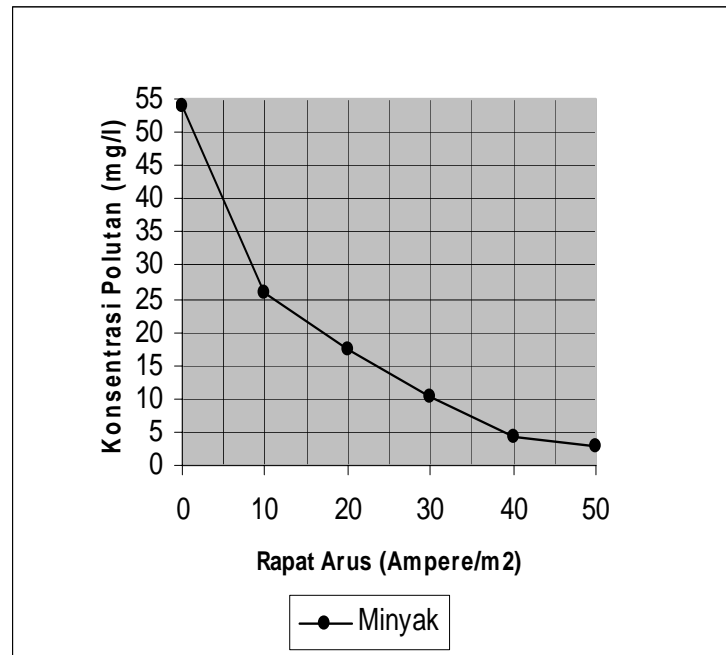
Laju penurunan polutan logam berat Zn berlangsung sangat cepat karena kuantitas logam Zn besar sementara hasil kali kelarutan Zn(OH)_2 pada kondisi operasi adalah kecil yaitu 2×10^{-14} (Underwood, 1980) sehingga laju pengendapannya menjadi besar. Endapan Zn(OH)_2 yang terbentuk diadsorpsi koagulan kemudian terflotasi oleh gelembung udara ke permukaan.

Transformasi polutan-polutan tersebut kemudian dipisahkan ke permukaan oleh gelembung udara baik yang berasal dari bubble distributor maupun gas hidrogen/oksigen yang dihasilkan dari proses elektro-koagulasi. Proses interaksi solid (koagulan/flok) dan minyak dengan gelembung udara adalah berdasarkan asas polaritas, dimana solid atau minyak yang mempunyai sifat hidrofob-hidrofobik pada molekulnya akan stabil pada gelembung udara di dalam air yang kemudian bergerak kepermukaan pada bak proses pengolahan.

Interaksi solid atau minyak dengan gelembung udara ini akan semakin maksimal bila didalam sistem terdapat senyawa surfaktan dimana senyawa ini akan menurunkan tegangan antar muka air dengan gelembung udara sehingga interaksi solid dan minyak dengan gelembung udara semakin kuat. Grafik-grafik konsentrasi pencemar sebagai fungsi rapat arus dengan pH dan laju alir yang lain dapat dilihat pada **lampiran A**. Dari grafik-grafik ini dapat terlihat penurunan kandungan zat pencemar dengan naiknya rapat arus.

Air limbah hasil pengolahan teknologi elektrokoagulasi flotasi yang telah dilakukan yang dilanjutkan ke tahap pengukuran, bila dibandingkan dengan baku mutu PERDA 10 Tahun 2004 maka parameter penentunya adalah minyak, karena sifat penurunan konsentrasi polutan (minyak) kecil terhadap kenaikan rapat arus dibanding parameter yang

lain. Berdasarkan ini maka nilai rapat arus yang memberikan kualitas air limbah terolah yang memenuhi baku mutu ditentukan dengan analisis grafik konsentrasi minyak sebagai fungsi rapat arus, dengan hasil sebagai berikut:



Gambar 6. Konsentrasi pencemar minyak sebagai fungsi rapat arus (pH 7, laju alir 2 l/menit)

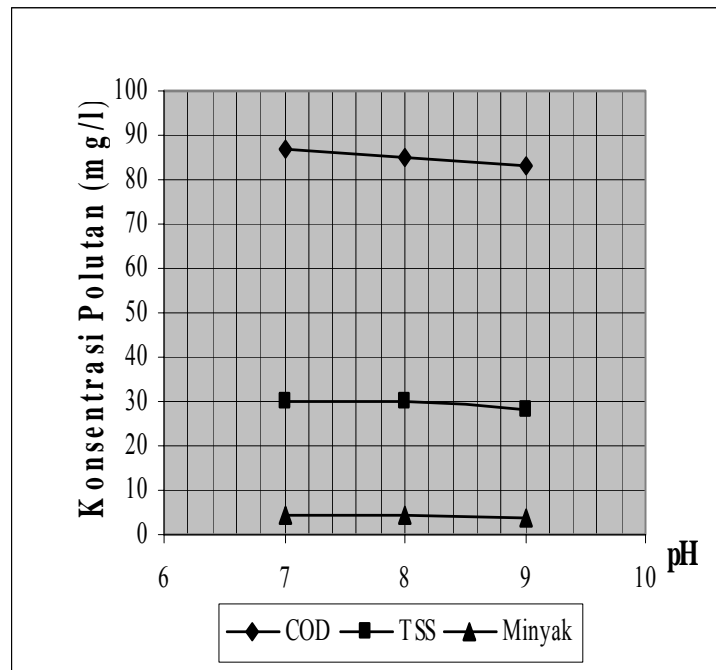
Berdasarkan grafik di atas maka nilai rapat arus yang memberikan hasil kualitas air limbah terolah memenuhi baku mutu yang disyaratkan (dibawah 5 mg/l) adalah 40 amper/m².

4.3.2. Konsentrasi Pencemar/Polutan sebagai Fungsi pH

Berdasarkan hasil percobaan penentuan efek utama maka diketahui bahwa variabel pH mempunyai kontribusi terhadap penurunan konsentrasi pencemar. Informasi ini kemudian ditindaklanjuti dengan menerapkan kondisi operasi pada pH 7, 8, dan 9. Alasan pemilihan nilai-nilai pH ini

karena kisaran nilai pH tersebut masih dalam batas yang disyaratkan oleh baku mutu sehingga bila tidak terjadi perubahan nilai pH akibat pengolahan maka tidak diperlukan langkah netralisasi.

Dengan demikian tidak ada konsumsi bahan untuk keperluan netralisasi. Hasil penurunan konsentrasi pencemar sebagai fungsi pH dapat dilihat pada grafik dibawah ini:

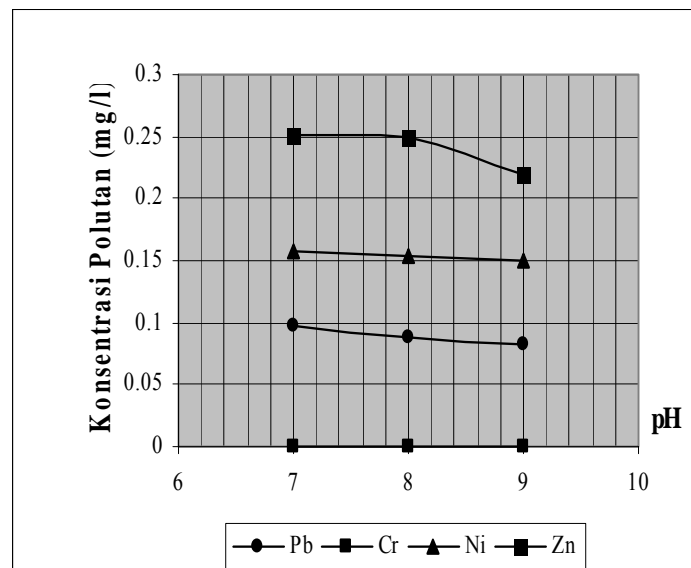


Gambar 7. Konsentrasi pencemar (COD,TSS,Minyak) sebagai fungsi pH (rapat arus 40 A/m^2 , laju alir 2 l/menit)

Berdasarkan grafik di atas maka diketahui bahwa terjadi penurunan kandungan polutan hasil pengolahan dengan meningkatnya pH. Hal ini disebabkan oleh efek ion hidroksida (OH^-), semakin meningkat jumlah ion hidroksida maka energi yang dibutuhkan untuk pembentukan gas hidrogen/oksigen semakin rendah sehingga gelembung hidrogen/oksigen banyak terbentuk. Meningkatnya jumlah gelembung udara akan meningkatkan pula kinerja flotasi.

Secara kuantitas jumlah penurunan zat pencemar pada air limbah oleh efek pH adalah tidak besar sehingga pemanfaatan parameter ini untuk meningkatkan efisiensi pengolahan adalah tidak tepat. Karena pH awal air limbah adalah ± 8 maka untuk menghilangkan konsumsi bahan kimia dalam pengaturan pH dapat dihindari.

Untuk tren penurunan konsentrasi pencemar logam berat dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Gambar 8. Konsentrasi pencemar (Pb,Cr,Ni,Zn) sebagai fungsi pH (rapat arus 40 A/m^2 , laju alir 6 l/menit)

Kontribusi pH pada penurunan polutan logam berat adalah pada ketersediaan ion hidroksi (OH^-). Semakin meningkat nilai pH maka reduksi molekul air (H_2O) menjadi ion hidroksi dan gas hidrogen adalah besar. Ion hidroksi akan bereaksi dengan polutan logam berat menjadi senyawa logam hidroksida yang tak larut dan mudah teradsorpsi oleh koagulan.

Kontribusi lain dari efek kenaikan pH adalah meningkatnya konduktifitas air limbah, berdasarkan pengukuran nilai DHL (daya hantar listrik) pada pH 7 adalah $548 \mu\text{S/cm}$; pH 8 adalah $658 \mu\text{S/cm}$; dan pH 9

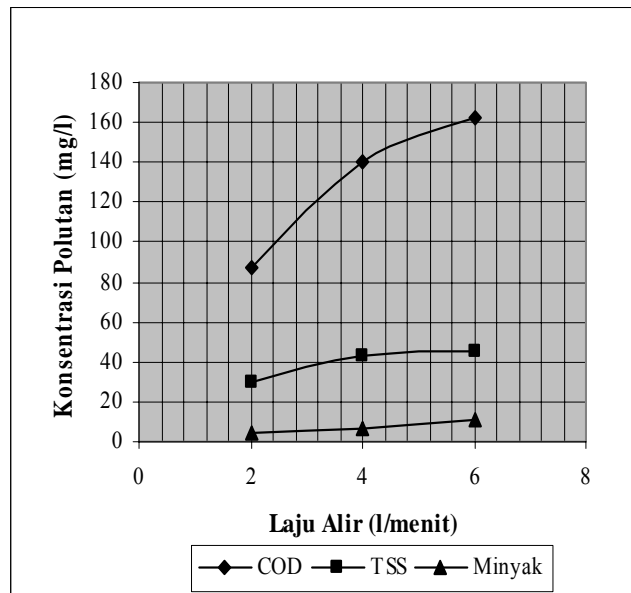
adalah 1774 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Meningkatnya nilai DHL maka menunjukkan kemudahan arus bergerak di dalam larutan sehingga mempermudah interaksi antar molekul-molekul yang ada di dalam larutan limbah tersebut. Grafik-grafik konsentrasi pencemar sebagai fungsi pH dengan rapat arus dan laju alir yang lain dapat dilihat pada **lampiran B**

4.3.3. Konsentrasi Pencemar/Polutan sebagai Fungsi laju alir

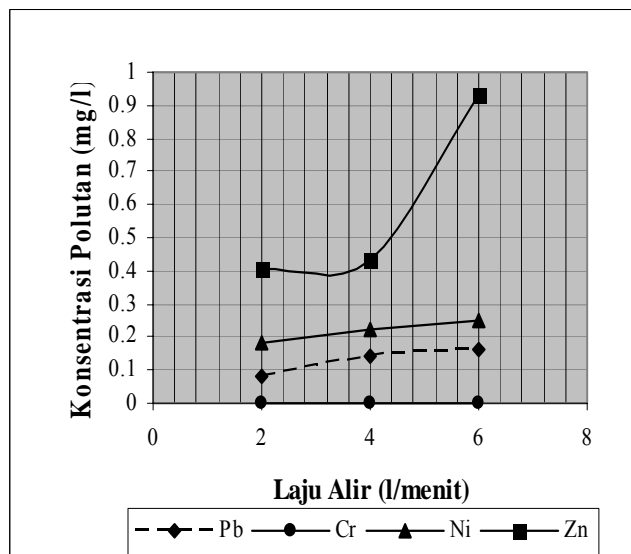
Selain variabel rapat arus dan pH, penelitian ini juga mengekspos variabel laju alir karena pada penentuan efek utama didapatkan kontribusi positif dari laju alir terhadap penurunan konsentrasi zat pencemar/polutan. Besarnya laju alir yang digunakan pada penelitian ini adalah 2 liter/menit, 4 liter/menit, dan 6 liter/menit.

Variabel laju alir ini bermanfaat untuk penentuan waktu tinggal. Semakin tinggi laju alir yang digunakan maka semakin singkat waktu tinggal air limbah di dalam bak proses, atau waktu yang dibutuhkan untuk mengolah alir limbah tersebut semakin singkat. Semakin singkat waktu yang dibutuhkan maka akan semakin rendah biaya yang dibutuhkan. Untuk itu penelusuran konsentrasi pencemar/polutan sebagai fungsi laju alir dilakukan.

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan yang terdapat pada tabel 4 maka dibuat suatu grafik konsentrasi pencemar sebagai fungsi laju alir untuk parameter COD, TSS, Minyak, dan logam berat.



Gambar 9. Konsentrasi pencemar (COD,TSS,Minyak) sebagai fungsi laju alir (rapat arus 40 A/m^2 , pH 7)



Gambar 10. Konsentrasi pencemar (Pb,Cr,Ni,Zn) sebagai fungsi laju alir (rapat arus 20 A/m^2 , pH 7)

Grafik di atas menunjukkan terjadinya kenaikan konsentrasi pencemar pada effluent pengolahan dengan bertambahnya laju alir. Hal ini

dikarenakan semakin berkurangnya koagulan yang terbentuk terhadap waktu sehingga peluang transformasi polutan dan adsorpsi koagulan semakin rendah. Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa hanya pada laju alir 2 liter/menit semua parameter pencemar/polutan dapat memenuhi baku mutu. Dengan demikian waktu tinggal yang dibutuhkan untuk mengolah air limbah dengan peralatan di atas adalah 2,5 jam. Grafik-grafik yang sama dapat dilihat pada **lampiran C**.

4.3.4. Model Persamaan Penurunan Polutan sebagai Fungsi Arus

Fenomena penurunan polutan (COD, TSS, Minyak, logam berat) pada penelitian ini dapat dibuat suatu model persamaan yang menghubungkan perubahan konsentrasi polutan terhadap perubahan arus yang secara matematik diperoleh dengan cara :

$$- dA/dI = k' A$$

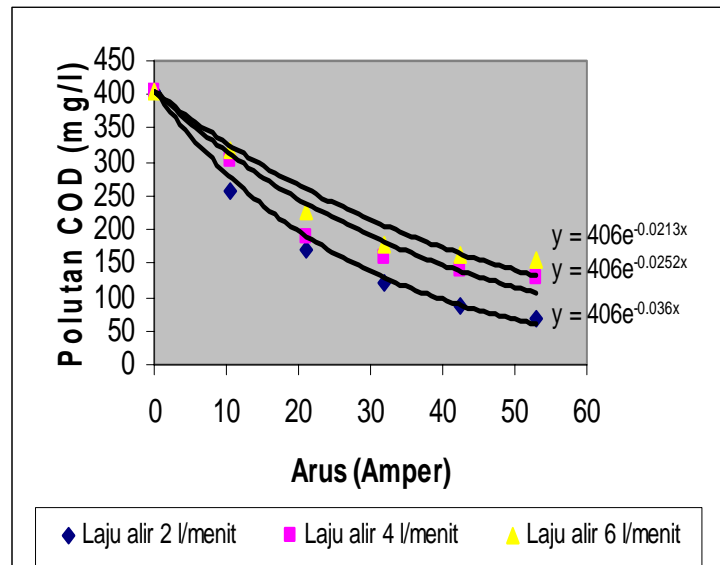
$$- dA/A = k' dI$$

$$\int dA/A = - k' \int dI$$

$$\ln A/A_0 = - k' I$$

$$A_I = A_0 e^{-k' I}$$

Untuk menentukan nilai k' pada rumusan ini diperlukan data A_0 (konsentrasi polutan pada arus nol) dan A (konsentrasi polutan pada tiap-tiap I (arus) maka dengan menggunakan data hasil penelitian yang telah dilakukan (tabel 4) nilai k' pada masing-masing polutan dapat dicari. Untuk polutan COD maka dihasilkan nilai k' sebagai berikut:



Gambar 11. Model persamaan penurunan COD sebagai fungsi arus

Model persamaan penurunan COD untuk laju alir 2 l/menit adalah $COD_t = 406 e^{-0,036t}$, dimana nilai k' adalah 0,036. k' adalah konstanta teramati (appear) yang merupakan perwujudan dari konstanta laju reaksi dan konstanta adsorpsi-desorpsi. Nilai konstanta laju reaksi selalu tetap sedangkan nilai konstanta adsorpsi-desorpsi selalu berubah-ubah tergantung pada kesetimbangan material yang ada pada sistem tersebut (Agustine, R. L. 1996). Dari grafik di atas diketahui nilai k' yang tidak tetap yaitu semakin tinggi laju alir nilai k' semakin rendah. Untuk jenis polutan yang lain dapat dilihat pada **lampiran D**.

Persamaan model di atas berlaku dengan batasan-batasan, yaitu : interval arus 10,6 – 53 Amper, jenis limbah sesuai obyek penelitian, pH 7-9, dan model desain alat penelitian seperti pada gambar 2.

4.4. Flotasi

Sumber flotasi pada obyek penelitian berasal dari bubble distributor dan gas hidrogen/oksigen hasil proses elektrokoagulasi. Kuantitas gas hidrogen dan

oksigen tergantung pada rapat arus yang diberikan, semakin meningkat arus maka semakin banyak gas hidrogen oksigen yang dihasilkan. Gelembung udara yang berasal dari bubble distributor dibuat konstan, yaitu dengan mengendalikan tekanan kompresor yang masuk ke bubble distributor sebesar 0,16 bar pada tiap-tiap ujungnya. Rangkaian detail flotasi dari bubble distributor dapat dilihat pada metodologi.

Dari pengamatan selama penelitian, proses flotasi berjalan efektif karena semua padatan yang terbentuk dari proses elektrokoagulasi dapat terflotasi ke permukaan dan tidak ditemukan endapan pada dasar bak proses secara signifikan.

4.5. Neraca Massa Polutan logam Berat Ni, Cr, Zn, dan Pb

Untuk mengetahui transformasi polutan dalam kaitannya dengan penelitian ini maka dilakukan percobaan neraca massa. Dengan percobaan ini maka dapat diketahui kandungan polutan di setiap produk pengolahan yaitu di air limbah terolah dan sludge yang terbentuk dan terkonsentrasi di permukaan sebagai hasil dari proses flotasi.

Sistem yang digunakan untuk neraca massa adalah batch, sistem ini dipilih karena tujuan eksperimen adalah untuk mengetahui kesetimbangan massa output-input sehingga kuantitas polutan yang tepat dan tetap diperlukan. Melalui sistem batch diharapkan perubahan kuantitas hanya didasarkan pada transformasi fasa dari suatu polutan. Transformasi fasa yang dimaksud adalah perubahan polutan pada fasa cair (terlarut) sebagai wujud limbah yang diolah ke fasa padat (sludge) sebagai salah satu wujud fasa yang dihasilkan dalam proses pengolahan. Untuk tujuan kemudahan eksperimen maka sampel dilakukan penambahan polutan dengan kuantitas tertentu. Hal ini dilakukan karena kandungan logam rendah sehingga akan sulit bila dilakukan analisis pada sludge yang dihasilkan.

Tabel 5. Neraca massa polutan logam berat yang dihasilkan dari proses pengolahan elektro-koagulasi-flotasi

N O	PARAMETER	CONTOH UJI					
		Sampel+Spike		Filtrat		Sludge	
		mg/l	mg	mg/l	mg	mg/l	mg
1	Aluminium (Al)	0,20	0,1	0,26	0,13	24,6	6,15
2	Nikel (Ni)	1,683	0,842	0,211	<0,015	2,892	0,723
3	Seng (Zn)	4,463	2,731	0,030	0,015	8,669	2,167
4	Chrom total (Cr)	1,071	0,536	<0,03	0,015	1,859	0,465
5	Chrom hexavalen	0,018	0,009	0,007	0,004	0,020	0,005
6	Timbal (Pb)	1,342	0,671	0,327	<0,015	2,416	0,604

Ket Spike : kuantitas polutan tertentu yang ditambahkan ke dalam sample untuk eksperimen ini adalah 1 mg/l

Berdasarkan hasil analisa di atas maka sangat nyata terjadi suatu transformasi polutan logam dari fasa cair/terlarut ke fasa padat (sludge) dengan dilakukannya pengolahan berdasarkan sistem elektro-koagulasi. Hal ini dapat terjadi karena polutan logam Nikel (Ni), Seng (Zn), Timbal (Pb), dan Krom (Cr) membentuk senyawa logam hidroksida dan oksida logam kompleks yang tidak larut dalam air. Senyawa ini selanjutnya berinteraksi melalui gaya adsorpsi ke struktur rongga koagulan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang dihasilkan dari anoda Al pada sistem pengolahan. Interaksi antara senyawa tak larut baik yang dihasilkan dari polutan logam maupun polutan lain akan menghasilkan flok yang terflotasi sebagai salah satu wujud produk pengolahan yang disebut sludge. Proses flotasi flok terjadi karena adanya interaksi flok dengan gelembung udara.

Di dalam tabel terdapat data konsentrasi dan berat untuk masing-masing logam. Data konsentrasi diperoleh langsung dari pengukuran dengan AAS (Atomic Adsorption Spectrofotometer), sedangkan data berat di hasilkan dari proses perhitungan konsentrasi dengan volume contoh uji. Contoh perhitungannya adalah

Konsentrasi logam berat Zn pada air limbah yang telah dispike adalah 4,463 mg/l dengan volume contoh 500 ml maka:

$$\begin{aligned}
 w(\text{Zn}) &= C(\text{mg/l}) \times V(\text{l}) \\
 &= 4,463 \text{ mg/l} \times 0,5 \text{ l} \\
 &= 2,231 \text{ mg}
 \end{aligned}$$

Hasil tranformasi polutan dari fasa cair/terlarut ke fasa padat terjadi pengurangan jumlah massa. Polutan logam Nikel jumlah massa awal sebelum diolah adalah 0,842 mg menjadi 0,723 mg; Seng dari 2,731 mg menjadi 2,167 mg; Krom total dari 0,536 mg menjadi 0,465 mg; Timbal dari 0,671 mg menjadi 0,604 mg. Penurunan massa polutan logam (*loss material*) ini disebabkan oleh kesulitan teknis penyaringan sludge dan pengukuran. Pada tahap penyaringan diketahui bahwa tidak semua sludge yang dihasilkan dapat diambil untuk keperluan destruksi karena banyak sludge yang masih menempel di alat gelas dan dikertas saring yang secara teknis sulit diambil. Untuk kesulitan analisis atau pengukuran adalah terletak pada tahap destruksi dari pengamatan menunjukkan bahwa tidak semua sludge mampu terdestruksi karena hambatan kemampuan asam dalam menguraikan padatan/sludge sehingga saat destruksi masih terlihat padatan yang tersisa.

Pada polutan logam Krom (Cr) dapat diketahui tidak terjadi oksidasi Krom trivalen (Cr^{3+}) ke Krom hexavalen (Cr^{6+}). Hal ini didasarkan pada konstanitas jumlah Krom hexavalen dan Krom trivalen pada air limbah sebelum diolah dengan sludge yang dihasilkan. Konstanitas kandungan logam Krom memberikan informasi bahwa energi (voltase) yang diberikan pada sistem pengolahan belum melebihi dari energi/voltase yang diperlukan untuk reaksi oksidasi Krom trivalen menjadi Krom hexavalen.

Dengan percobaan ini dapat ditentukan efisiensi arus (η) yang dihitung secara gravimetri, yaitu menimbang berat anoda sebelum perlakuan dan setelah perlakuan. Selisih berat awal terhadap berat akhir merupakan berat anoda yang terlarutkan secara eksperimen (w_d). Untuk berat logam Al yang terlarutkan secara teoritik (w_t) dihitung menggunakan rumus Faraday dengan bantuan data arus dan waktu yang digunakan. Dengan data ini efisiensi arus kemudian dihitung dengan cara:

$$\begin{aligned}\eta (\%) &= (w_d / w_t) \times 100\% \\ &= \frac{(w_{aw} - w_{ak})}{\left(\frac{Mit}{96500n_e} \right)} \times 100\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(6,2174 - 6,2101)}{\left(\frac{27 \times 0,32 \times 5 \times 60}{96500 \times 3} \right)} \times 100\% \\
 &= (6,18 / 8,95 \times 100\% \\
 &= 81,56\%
 \end{aligned}$$

Dengan nilai efisiensi arus kurang dari 100% menunjukkan terjadinya kehilangan arus pada sistem elektrokoagulasi ini. Hal ini disebabkan antara lain (1) Perubahan energi listrik menjadi energi panas (2) hilangnya arus karena hambatan material penghubung dari power supply ke elektroda dan (3) kualitas material anoda yang digunakan

Untuk meningkatkan efisien arus agar tidak terjadi kehilangan energi listrik sehingga biaya operasi akan menurun maka dilakukan usaha antar alain: (1) memilih bahan elektroda anoda dengan kemurnian tinggi, (2) memperpendek kabel penghubung dari sumber arus ke elektroda dan (3) mencegah terjadinya perubahan energi listrik menjadi energi panas.

4.6. Analisis Lapangan (Industri)

Analisis lapangan dilakukan di PT Kubota Indonesia yang juga merupakan obyek penelitian ini. PT kubota Indonesia merupakan salah satu industri berbasis logam, dimana produk yang dihasilkan berupa alat-alat mekanik yang berbahan dasar logam. Proses produksi yang berlangsung adalah *undercoating*, *machining*, dan *assembling*. Tiap-tiap proses ini mengeluarkan atau menghasilkan air limbah dengan karakteristik masing-masing. Pada proses *undercoating* terdapat beberapa tahapan, yaitu *decreasing*, *washing*, pemanasan, pengecatan dasar, dan pengecatan luar (*top coat*) dengan jenis polutan ZnHPO_4 , $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, Fosfor, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, Fluosilica, minyak dan surfactan. Pada proses *machining* terdapat tahapan coolant yang berpotensi membuang limbah dengan kandungan minyak hidrokarbon dan zat emulcat tinggi. sedang pada proses *assembling* terdapat tahapan *decreasing* dan pengecatan.

Untuk air limbah yang dihasilkan melalui beberapa proses di atas kemudian dilakukan pengolahan dengan sistem koagulasi-flokulasi. Bahan kimia yang digunakan adalah PAC, kapur, dan manaflok. Cara kerja yang dilakukan adalah mencampurkan limbah dengan bahan-bahan tersebut dalam bak proses yang berkapasitas 3 m^3 . Pencampuran dilakukan secara manual yang dibantu dengan aerasi. Proses ini membutuhkan waktu rata-rata 1,25 jam. Indikator keberhasilan proses koagulasi-flokulasi ditentukan secara visual. Setelah selesai proses ini maka dilanjutkan proses pengendapan menggunakan bak pengendap sebanyak 4 dengan luas $6,6 \text{ m}^2$. Proses pengolahan selanjutnya adalah aerasi dan filtrasi. Aerasi dilakukan di bak aerasi seluas $4,5 \text{ m}^2$ sedangkan filtrasi dilakukan dengan menggunakan 3 bak berukuran masing-masing 3 m^2 .

Berdasarkan pengamatan lapangan maka dapat diketahui beberapa kendala dalam pengolahan dan pengelolaan air limbah. Kendala tersebut adalah:

1. Biaya koagulan dan flokulan yang tinggi, untuk 1 m^3 air limbah biaya pengolahannya adalah Rp 5.770,-. Biaya ini hanya dihitung dari penggunaan bahan PAC, kapur, dan manafloc.
2. Sludge yang dihasilkan dari proses pengolahan adalah tinggi, hal ini disebabkan bahan-bahan koagulan yang digunakan terutama kapur dan PAC adalah tinggi. Untuk 1 m^3 air limbah dibutuhkan kapur sebanyak 0,75 Kg, PAC 2 Kg, dan Manaflok 4 g
3. Karena proses pengolahan dilakukan secara manual oleh tenaga manusia maka potensi keterpaparan polutan baik dari zat pencemar limbah maupun bahan koagulan adalah besar.
4. Perbandingan Luas area pengolahan terhadap volume air limbah adalah besar sehingga kurang efisien.

Kendala-kendala tersebut jika dianalisis dengan sistem pengolahan elektrokoagulasi flotasi yang telah dilakukan maka:

1. Bahan koagulan yang digunakan pada sistem pengolahan yang telah berjalan di PT Kubota dengan konsumsi biaya sebesar Rp 5770,- untuk 1 m^3 air limbah maka tidak ditemukan pada sistem pengolahan elektrokoagulasi flotasi karena bahan tersebut digantikan oleh anoda

Al, namun biaya akan muncul pada konsumsi listrik dan logam Al yang terlarutkan. Bila biaya ini dihitung maka diperoleh biaya pengolahan sebagai berikut:

Biaya dihitung berdasarkan kebutuhan listrik dan anoda aluminium.

- Kebutuhan elektroda aluminium dihitung dengan rumus Faraday, dimana diketahui arus yang digunakan pada kondisi terbaik adalah 40 Amper dengan waktu tinggal 2,5 jam maka berat Al yang terlarutkan adalah

$$\begin{aligned} w &= (Mit/96500 n) \times (\eta) \\ &= [(27 \times 42,4 \times 2,5 \times 3600)/96500 \times 3] \times (81,56/100) \\ &= 28,84 \text{ g untuk 300 liter} \\ &= 96,14 \text{ g untuk } 1 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Jika plat aluminium Rp. 15.000/kg, maka biaya yang dibutuhkan adalah $96,14/1000 \times \text{Rp.15.000} = \text{Rp.1442,-}$

- Kebutuhan listrik

$$\begin{aligned} \text{Tenaga Listrik} &= V.I.t \\ &= 23,1 \times 42,4 \times 2,5 \text{ wattjam} \\ &= 2448 \text{ wattjam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jika } 1 \text{ kwh} &= \text{Rp.400}, \text{ maka } = 2448 / 1000 \times 400 \\ &= \text{Rp. 979} \end{aligned}$$

$$1 \text{ m}^3 = 10/3 \times \text{Rp. 979} = \text{Rp.3263}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi biaya operasional diperkirakan} &= \text{Rp.1442} + \text{Rp. 3263} \\ &= \text{Rp. 4705 / m}^3 \end{aligned}$$

Bila biaya ini dibandingkan dengan biaya penggunaan bahan koagulan maka dapat dihemat sebesar $\text{Rp } 5770 - \text{Rp } 4705 = \text{Rp } 1065$ tiap 1 m^3 limbah atau 18,46 %

2. Volume sludge yang dihasilkan dari proses elektrokoagulasi flotasi adalah jauh lebih kecil karena penambahan bahan hanya berasal dari pelarutan anoda Al sebesar 96,14 g untuk 1 m^3 , dengan demikian biaya

pengelolaan limbah padat turun menjadi $\{(2754 - 96,14)/2754\} \times 100\% = 96,5\%$. Menurut informasi dari industri biaya pengiriman limbah padat ke PPLI Cileungsi Rp 1.700.000 / ton limbah.

3. Peluang terpaparnya bahan polutan maupun koagulan pada pengolahan air limbah sistem elektrokoagulasi flotasi adalah sangat rendah karena proses berjalan secara kontinu dan dapat dikendalikan dengan tombol yang bisa ditempatkan jauh dari proses pengolahan.
4. Lahan yang dibutuhkan untuk pengolahan adalah lebih kecil atau terjadi penghematan 88% karena proses koagulasi dan pemisahan berlangsung satu tempat seperti terlihat pada peralatan penelitian.

Jika Teknologi ini diterapkan di PT Kubota Indonesia maka biaya investasi dapat dihitung sebagai berikut:

1. Bak proses

- Debit limbah 30 m³/hari
- Jam kerja dalam sehari 9 jam, sehingga

$$Q = D/t$$

$$= (30 / 9) \text{ m}^3/\text{jam} = 3,33 \text{ m}^3/\text{jam}$$

- Waktu tinggal 2,5 jam, maka

$$\text{Volume bak} = Q \times t_0$$

$$= 3,33 \text{ m}^3/\text{jam} \times 2,5 \text{ jam}$$

$$= 8,325 \text{ m}^3$$

- Bangunan beton bak dengan ketebalan 25 cm pada sisi samping dan 15 cm pada sisi bawah, maka

$$@ \text{ Volume beton sisi samping} = 3,33 \text{ m}^3$$

$$@ \text{ Volume beton sisi bawah} = 1,102 \text{ m}^3$$

$$\text{sehingga volume total beton} = 4,432 \text{ m}^3$$

- 1 m³ biaya Rp 5.000.000,-, maka biaya bak proses = 4,432 x Rp 5.000.000,- = **Rp 22.160.000,-**

2. Power supply

- Charger yang dibutuhkan untuk volume bak 8,325 m³ adalah 1665 Amper

- Data lapangan 1 Amper Rp 16 .000,- maka biaya power supply **Rp 26.640.000,-**
- Regulator 50 volt x 2000 Amper = 100 k watt, 3 k watt = Rp 500.000,- maka biaya regulator = **Rp 16.666.000,-**
- Harga ini sangat tergantung pada merek yang digunakan

3. Elektroda

- Anoda Al, untuk laju alir 3,33 m³/jam dibutuhkan plat dengan ukuran 75 cm x 150 cm sebanyak 4 buah dengan berat 300 Kg, 1 Kg plat Al Rp 15.000,- maka biaya plat Al = **Rp 4.500.000,-**
- Katoda Fe, ukuran yang diperlukan sama dengan anoda Al hanya harga 1 Kg plat Fe adalah Rp 7.000,- sehingga biaya plat Fe = **Rp 2.100.000,-**

4. Flotasi (IAF)

- Kompresor 10 pK, 1 pK Rp 1.000.000,- maka biaya kompresor = **Rp 10.000.000,-**
- Suport material (bublle distributor) 10% dari harga kompresor = **Rp 1.000.000,-**

5. Angka keamanan

20% dari jumlah No 1,2,3,dan 4 sehingga didapatkan biaya = 20% x Rp 83.066.000,- = **Rp 16.613.000,-**

6. Labor/tenaga kerja

20% dari jumlah No 1,2,3, dan 4 sehingga didapatkan biaya = 20% x Rp 83.066.000,- = **Rp 16.613.000,-**

7. Konsultasi

10% dari jumlah No 1,2,3, dan 4 sehingga didapatkan biaya = 10% x Rp 83.066.000,- = **Rp 8.306.600,-**

Total biaya investasi adalah Rp **124.598.000,-** dengan prediksi umur pakai 10 tahun.

Bila teknologi elektrokoagulasi flotasi ini diterapkan di PT. Kubota Indonesia maka akan didapatkan keuntungan sebagai berikut

1. Biaya operasi

- Untuk 1 bulan = (% penghematan) x (debit per hari) x (hari)
x (biaya pengolahan)
= (18,46%) x (30) x (25) x (Rp 5.770,-)
= Rp 798.856,-
- Untuk 1 tahun = 12 x Rp 798.856,-
= **Rp 9.586.272,-**

2. Biaya penanganan limbah padat

- Untuk 1 bulan = (% penghematan) x (ton sludge per m³) x
(debit per hari) x (hari) x (biaya pengelolaan
per ton)
= (96,5%) x (0,003) x (30) x (25) x (Rp
1.700.000,-)
= Rp 3.691.125,-
- Untuk 1 tahun = 12 x Rp 3.691.124,-
= **Rp 44.293.500,-**

Total keuntungan tiap tahun **Rp 53.879.772,-**. Bila teknologi elektrokoagulasi flotasi diterapkan dibandingkan teknologi pengolahan yang ada saat ini maka biaya investasi akan tertutup untuk waktu kurang dari 3 tahun sehingga dalam jangka 7 tahun sebagai sisa umur pemakaian alat pengolahan dapat menjadi keuntungan yang diterima oleh perusahaan.

Selain PT Kubota Indonesia analisis lapangan juga dilakukan di PT New Armada dari pengamatan di lapangan diketahui bahwa sistem pengolahan limbah yang dilakukan hanya penyaringan atau filtrasi. Sistem ini tidak efektif untuk mengolah limbah karena polutan yang terpisahkan hanya zat-zat yang berpartikel besar sehingga pencemaran lingkungan sangat berpotensi. Selain itu dilakukan pembongkaran dan pembersihan filter secara periodik sehingga akan mengganggu aktifitas pengolahan dan akan menghasilkan air limbah kembali.

BAB V

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

5.1. Kesimpulan

1. Logam anoda terlarut akan bereaksi dengan ion hidroksida membentuk koagulan yang mampu mengadsorpsi berbagai macam polutan yang tak larut sehingga dapat terflotasi oleh gelembung udara yang dihasilkan melalui proses elektrokoagulasi dan *induksi air flotation*. Fenomena ini merupakan dasar teknologi pengolahan air limbah dengan sistem elektrokoagulasi-flotasi dan telah terbukti mampu menurunkan kandungan polutan pada limbah industri berbasis logam hingga memenuhi baku mutu yang disyaratkan PERDA No 10/2004, Air Limbah Industri Gol I
2. Kondisi operasi yang menghasilkan kandungan polutan memenuhi baku mutu yang disyaratkan adalah rapat arus 40 A/m^2 , laju alir 2 l/menit, pH 7 – 9, dan tekanan bubble distributor 0,16 bar pada volume alat 300 liter dengan model desain alat pengolahan seperti pada gambar 2. Keuntungan yang diperoleh dengan kondisi operasi ini adalah penghematan biaya operasi 18,46% dan pengelolaan limbah padat 96,5% dihitung dari teknologi yang diterapkan oleh salah satu industri berbasis logam saat ini

5.2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kondisi operasi yang efektif untuk proses flotasi dan memperbandingkan metode dissolved air flotation (DAF) dengan induksi air flotation (IAF) sehingga didapatkan penurunan biaya operasi pengolahan.

5.3. Rekomendasi

Penggunaan teknologi elektrokoagulasi flotasi pada pengolahan air limbah yang berasal dari industri berbasis logam adalah lebih menguntungkan karena biaya pengolahan dan penanganan limbah padat yang dihasilkan lebih rendah.

Untuk industri yang menjadi obyek penelitian ini maka alih teknologi pengolahan dari system koagulasi-flokulasi ke elektrokoagulasi flotasi adalah pilihan yang lebih menguntungkan, hal yang perlu dilakukan adalah merubah bak proses koagulasi-flokulasi dan bak pengendapan menjadi bak proses elektrokoagulasi flotasi yang bervolume 8,325 m³ dengan model desain seperti pada hasil penelitian, adapun bak equalisasi dan bak filter tetap digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- APHA. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th Edition. American Public Health Association 1015 Fifteenth Street, NW. Washington
- Augustine, R. L. 1996. *Heterogeneous Catalysis for the Syntetic Chemist*. Marcel Dekker, Inc. New York
- BAPPEDAL JATENG, 2004, *Peraturan Daerah Propinsi Jawa Tengah NO 10 tahun 2004; Tentang Baku Mutu Air Limbah*, Bappedal Propinsi Jateng.
- Benefeld, L. D., Judkins J. F. and Weand, B. L. 1982. *Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment*. Prentice Hall Inc
- Cheremisioff, P. N. 1995. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technology*, Marcel Dekker Inc, USA
- Duffey, J.G. 1983. *Electrochemical Removal of Heavy Metals from Wastewater, Product Finishing*, p. 72, August 1983
- EMDI (Enviromental Management Development in Indonesia), 1994, *Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia: Sumber, Pengendalian dan baku Mutu*, Project of the Ministry of State for the Enviroment, Republic of Indonesia and Dalhousie University, Canada.
- Fraco, N. B. 1974. *Electrochemical Removal of Heavy Metal from Acid Mine Drainage*. Enviromental Protection Agency Report EPA-670 12-74-023. May 1974
- Huheey, J. E. 1978. *Inorganic Chemistry; Principles of Structure and Reactivity*. Second Edition. harper & Row, Publishers, Inc. New York.
- Metcalf, Eddy. 1991. *Wastewater Engineering*. third edition. McGraw - Hill Inc. New York
- Lin, Shundar. 2001, *Water and Wastewater Calculation Manual*, McGraw-Hill, USA
- Lorch, W. 1981. *Handbook Water Purification*. McGraw – Hill Inc. England
- Metteson, Michael J, 1995. *Electrocoagulation and Separation of Aqueous Suspensions of Ultrafine Particles, Colloids and Surface A*

Physicochemical and Engineering Aspects. The University of Sydney.
New South Wales

Myers, D. 1999. *Surface, Interfaces, and Colloids: Principles and Applications.*
Second Edition. John Wiley & Sons Inc

Newman, J. S. 1984. *Electrochemical Systems*, 2nd Edition. Prentice Hall
International Inc. New Jersey

Peter, H. Geoffrey, B and Mitchell, C. 2006. *Electrocoagulation As a Wastewater
Treatment, Department of Chemical Engineering.* The University of
Sydney. New South Wales

Purwanto, Syamsul H, 2005, *Teknologi Industri Elektroplating*, Badan penerbit
Universitas Diponegoro, Semarang

Purwanto, 2005, *Permodelan Rekayasa Proses dan Lingkungan*, Badan penerbit
Universitas Diponegoro, Semarang

Renk, R. R. 1989. *Treatment of hazardous wastewater by electrocoagulation.* In:
3rd Annual Conference Proceedings (1989). Colorado Hazardous Waste
Management Society

U.S. EPA. 1974. *Superfund Innovative Technology Evaluation.* EPA/640/S-
937504 Washington

Underwood, 1980, *Analisa Kimia Kuantitatif*, Penerbit Erlangga, Jakarta

Woytowich D.L.; Dalrymple C. W.; Britton M. G.; 1993. *Electrocoagulation
(CURE) Treatment of Ship Bilgewater for the U. S. Coast Guard in Alaska.*
Marine Technology Society Journal, Vol. 27. 1p. 62, Spring 1993